



*Теория
городских
пассажирских
перевозок*

И. С. ЕФРЕМОВ, В. М. КОБОЗЕВ, В. А. ЮДИН

Теория городских пассажирских перевозок

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия
для студентов вузов,
обучающихся по специальности
«Городской электрический транспорт»



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1980

ББК 39.8
Е92
УДК 656.1/5

Рецензенты:

кафедра городского электрического транспорта Харьковского института инженеров коммунального строительства;
проф. *Д. С. Самойлов* (Московский инженерно-строительный институт)

Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А.

Е92 Теория городских пассажирских перевозок: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. школа, 1980. — 535 с., ил.

В пер.: 1 р. 60 к.

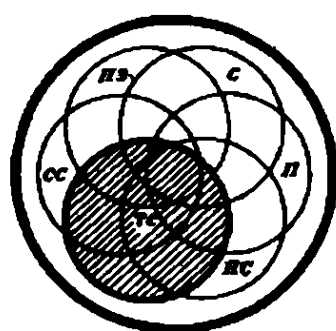
В книге рассмотрены место и роль городского транспорта в системе городского хозяйства современных городов; основные понятия теории городских пассажирских перевозок, транспортных расчетов, организации движения городского пассажирского транспорта, описаны автоматизированные системы городских пассажирских перевозок.

Книга предназначена для студентов вузов по специальности «Городской электрический транспорт». Может быть полезна научным работникам исследовательских организаций и инженерно-техническому персоналу, связанному с управлением городским пассажирским транспортом и вопросами проектирования и эксплуатации городских транспортных систем.

31 4—043
Е 91—79 3604000000
001(01)—80

БТЗ
ББК 39.8

ОГЛАВЛЕНИЕ



РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. ТРАНСПОРТ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА

Предисловие	3
Введение	5
 Глава 1. <i>Функции ГПТ</i>	7
§ 1.1. Виды городского транспорта и их удельный вес в городском движении	7
§ 1.2. Основные элементы ГПТ и их системная связь	9
§ 1.3. Влияние ГПТ на формирование и рост городов в условиях современной урбанизации	14
§ 1.4. Архитектурно-градостроительные и эксплуатационные требования к ГПТ	21
§ 1.5. Критерии оценки народнохозяйственной эффективности ГПТ	25
 Глава 2. <i>Динамика и перспективы развития ГПТ</i>	28
§ 2.1. Исторические этапы развития ГПТ	28
§ 2.2. Современный кризис ГМПТ за рубежом и пути его преодоления	35
§ 2.3. Перспективы развития ГМПТ в СССР	38
 Глава 3. <i>Основные понятия теории ГПТ и измерители пассажироперевозок</i>	40
§ 3.1. Количественные характеристики дорожного движения	40
§ 3.2. Скорость движения подвижного состава маршрутного ГПТ и коэффициент использования максимальной разрешенной скорости	48
§ 3.3. Понятия передвижения и поездки	54
§ 3.4. Основные количественные измерители пассажироперевозок	67
§ 3.5. Картограмма пассажиропотоков и ее характеристики	74

Глава 4. Общая характеристика и сравнительная оценка основных видов ГМПТ	79
§ 4.1. Обычные (традиционные) и новые виды ГПТ	79
§ 4.2. Критерии сравнительной оценки видов ГПТ	80
§ 4.3. Метрополитен	82
§ 4.4. Трамвай	87
§ 4.5. Автобус	89
§ 4.6. Троллейбус	91
 Глава 5. Транспортные сети ГПТ	92
§ 5.1. Типовые схемы городских транспортных сетей	92
§ 5.2. Основные характеристики и критерии оптимизации городских транспортных сетей	96
§ 5.3. Расчет оптимальной плотности транспортной сети по критерию минимума трудности сообщения	105
 Глава 6. Расчет и методы повышения пропускной способности транспортных сетей	109
§ 6.1. Пропускная способность в сечении перегона	109
§ 6.2. Пропускная способность остановочных пунктов	111
§ 6.3. Пропускная способность перекрестков	116
§ 6.4. Пропускная способность затяжного спуска, ограниченного светофорами	121
 Глава 7. Маршруты и маршрутные системы ГМПТ	122
§ 7.1. Классификация и оборудование маршрутов	122
§ 7.2. Линейный паспорт и технологическая карта маршрута	128
§ 7.3. Критерии оптимизации и основные характеристики маршрутных систем	130
§ 7.4. Принципы маршрутизации транспортных сетей	136
 Глава 8. Взаимодействие системы ГПТ с обслуживаемым городом	138
§ 8.1. Критерии оценки соответствия системы ГПТ планировочным решениям города	138
§ 8.2. Методика оценки планировочного решения города и определения ожидаемых характеристик его транспортной системы	143



РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ПРОЕКТНЫЕ

РАСЧЕТЫ

ПАССАЖИРО-

ПЕРЕВОЗОК

Глава 9. Виды проектных расчетов пассажиро-перевозок

151

§ 9.1. Стадии градостроительно-транспортного проектирования

151

§ 9.2. Транспортная часть технико-экономических основ развития города

155

§ 9.3. Транспортная часть генерального плана города и последующих стадий градостроительного проектирования

158

§ 9.4. Комплексная транспортная схема

162

§ 9.5. Операционная схема автоматизированной системы проектирования генерального плана города

164

§ 9.6. Математическое моделирование и использование ЭВМ при решении градостроительных и транспортных задач

167

Глава 10. Законы формирования передвижений городского населения

169

§ 10.1. Подвижность населения

169

§ 10.2. Вероятность выбора населением способа передвижения

179

§ 10.3. Законы пространственной самоорганизации населения по затратам времени в передвижениях

184

§ 10.4. Понятия расселения и тяготения

188

§ 10.5. Закономерности расселения по затратам времени на передвижения

190

§ 10.6. Функция тяготения

198

Глава 11. Прогнозирование передвижений городского населения

200

§ 11.1. Принципы прогнозирования передвижений городского населения

200

§ 11.2. Математические модели расчета передвижений населения в городах

204

§ 11.3. Прогнозирование основных характеристик городских пассажирских перевозок методами укрупненных расчетов

211

§ 11.4. Прогнозирование пассажироперевозок методом расчета взаимных корреспонденций транспортных районов

219

§ 11.5. Процедура балансировки корреспонденций

237

§ 11.6. Распределение пассажиропотоков по транспортной сети

246

§ 11.7. Поиск кратчайших путей на графе транспортной сети

249

§ 11.8. Расчет пассажиропотоков с учетом динамики формирования во времени

253

§ 11.9. Программы расчета пассажироперевозок на ЭВМ.

261

Глава 12. Проектирование транспортной сети и маршрутной системы ГПТ

266

§ 12.1. Принципы и технические нормативы проектирования городских транспортных сетей

266

§ 12.2. Закономерности формирования городских транспортных сетей	269
§ 12.3. Методы проектирования транспортных сетей	272
§ 12.4. Принципы проектирования скоростного ГМПТ	277
§ 12.5. Маршрутизация транспортных сетей	298
§ 12.6. Координация маршрутных систем разных видов ГПТ в единой транспортной системе	303

Глава 13. Основы выбора видов ГПТ и расчета элементов транспортных систем	306

§ 13.1. Принципы подхода к выбору видов и систем ГПТ	306
§ 13.2. Выбор желательных интервалов движения поездов ГПТ	311
§ 13.3. Расчет количества и выбор рядов вместимости подвижного состава для освоения расчетных пассажироперевозок	313
§ 13.4. Выбор вариантов систем ГМПТ по данным расчета требующегося ряда вместимостей подвижного состава	323
§ 13.5. Проектирование и расчет элементов систем ГМПТ	328

Глава 14. Примеры проектных расчетов ГМПТ	332

§ 14.1. Расчет ГМПТ для города с численностью населения 300 тыс. человек	332
§ 14.2. Расчет ГМПТ для вновь застраиваемого района существующего города	370

Глава 15. Принципы и состав задач организации движения ГПТ	378

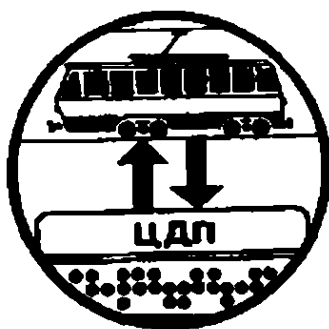
§ 15.1. Маршрутный и новые принципы организации движения традиционных видов ГПТ	278
§ 15.2. Состав и задачи организации движения городского транспорта	384

Глава 16. Обследования передвижений городского населения	389

§ 16.1. Методы обследования пассажироперевозок	389
§ 16.2. Глазомерные счетные, табличный, талонный и анкетный методы обследования пассажироперевозок	399
§ 16.3. Расчеты необходимого объема выборки при обследованиях пассажироперевозок	404

Глава 17. Методы оптимизации маршрутных систем ГМПТ	406

§ 17.1. Критерии выбора длины маршрутов ГМПТ	406
§ 17.2. Выбор длины перегонов на маршрутах из условия минимума затрат времени в передвижениях населения	408



РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ
ОРГАНИЗАЦИЯ
ДВИЖЕНИЯ
ГОРОДСКОГО
МАССОВОГО
ПАССАЖИРСКОГО
ТРАНСПОРТА

§ 17.3. Принципы размещения остановочных пунктов на маршрутах ГМПТ	410
§ 17.4. Принципы регулирования распределения пассажиропотока по длине маршрутов ГМПТ	413
§ 17.5. Принципы совмещения и разделения маршрутов ГМПТ	421
§ 17.6. Маршрутизация с учетом колебаний пассажиропотоков по длине маршрутов ГМПТ во времени	426
§ 17.7. Задача об отмене остановочного пункта	429

Глава 18. Планирование движения ГМПТ 431

§ 18.1. Нормирование рейсового времени, регулярности движения и эксплуатационной скорости на маршрутах ГМПТ	431
§ 18.2. Расчет потребности в подвижном составе для обслуживания пассажироперевозок	436
§ 18.3. Распределение подвижного состава по маршрутам ГМПТ	440
§ 18.4. Расчеты потребности в подвижном составе и распределения его по маршрутам с использованием экономико-математических методов и ЭВМ	447
§ 18.5. Режимы работы поездных бригад и подвижного состава на линии по сменности	451
§ 18.6. Нулевые пробеги и распределение маршрутов между депо по критерию минимума нулевых пробегов	456
§ 18.7. Наряд на выпуск и расписание движения поездов	462
§ 18.8. Пути повышения оперативности планирования движения в системах обычного ГМПТ с использованием возможностей ЭВМ	471

Глава 19. Контроль и регулирование движения ГПТ 473

§ 19.1. Задачи и содержание контроля и регулирования движения ГПТ	473
§ 19.2. Принципы контроля и регулирования движения потоков немаршрутного городского транспорта	475
§ 19.3. Правила и организация дорожного движения городского транспорта	484
§ 19.4. Принципы контроля и регулирования движения маршрутного ГПТ	486
§ 19.5. Неавтоматические системы диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ	489
§ 19.6. Средства оперативной связи в неавтоматических системах диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ	492
§ 19.7. Автоматизированные системы диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ	494
§ 19.8. Автоматический контроль и регулирование движения ГМПТ	507
Заключение	519
Основные обозначения и понятия	524
Литература	528
Список сокращенных обозначений, принятых в книге	530

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга является учебным пособием по курсу «Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта». Задача этого курса — дать студентам основы знаний в области теории городских пассажирских перевозок, их прогнозирования, организации движения, системных методов анализа городских транспортных систем, автоматизированных систем управления на городском транспорте.

Высокие темпы роста урбанизации и объемов пассажироперевозок, благосостояния и культурного уровня советского народа предъявляют все возрастающие требования к совершенствованию городского пассажирского транспорта в нашей стране. Соответственно повышаются и требования к квалификации подготавливаемых в высшей школе специалистов для этой отрасли. Возникла необходимость значительного расширения их кругозора, овладения методологией разнообразных технико-экономических расчетов, более глубокого понимания закономерностей городского движения, взаимосвязи его с другими отраслями городского хозяйства и социально-экономическими проблемами страны.

Отметим, что теория городских пассажирских перевозок как наука, несмотря на большую актуальность стоящих перед ней народнохозяйственных задач, до сих пор окончательно не сформировалась. Это объясняется крайней сложностью объекта ее исследования. Транспортные проблемы глубоко социологичны в своей основе. Поэтому формирование теории городских пассажирских перевозок идет на стыке разных отраслей знания: градостроительства, техники, экономики, социологии, экономической географии и др. Современный этап развития теории городских пассажирских перевозок характеризуется применением в транспортных расчетах ЭВМ, методов комбинаторики, теории массового обслуживания, кибернетики, системотехники, статистического анализа, линейного и динамического программирования, теории графов и других новейших отраслей математики. Обширность темы и ограниченный объем книги не позволяют изложить в ней весь комплекс вопросов теории городских пассажирских перевозок. К тому же многие из них не вышли еще из стадии исследований и являются дискуссионными.

Решение задач транспортного обслуживания городов распадается на два основных комплекса: проектирование городских транспортных систем и организацию движения городского транспорта. Первая реша-

еся в общем комплексе задач градостроительного проектирования, вторая — транспортными отделами Горисполкомов и транспортными предприятиями. В предлагаемом учебном пособии рассмотрены в основном вопросы теории городских пассажирских перевозок средствами городского массового пассажирского транспорта (ГМПТ).

В первом разделе описаны основные понятия теории городских пассажирских перевозок и вопросы взаимодействия городского пассажирского транспорта с обслуживаемым городом на основе системных представлений.

Второй раздел посвящен вопросам теории городских транспортных систем и проектных расчетов пассажироперевозок.

В третьем разделе рассмотрены вопросы теории организации движения: планирования, контроля и регулирования движения в транспортных системах.

В пособии указаны взаимосвязь технических и социально-экономических сторон городского комплекса, решающего влияния городского транспорта на формирование и планировку современного города. Основное внимание уделено теоретической стороне излагаемых вопросов с тем, чтобы развить у студентов мышление в области проектирования, выбора видов транспорта и эксплуатации городских транспортных систем.

Предлагаемая книга представляет собой первую часть курса «Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта». Во второй части будут рассмотрены теория, конструкция и расчет средств городского массового пассажирского транспорта — подвижного состава, систем электроснабжения ГЭТ, эксплуатационно-ремонтных баз подвижного состава, путевых устройств, оборудования систем организации движения.

При подготовке книги к изданию учтены замечания и советы рецензентов кафедры городского электрического транспорта и доцента кафедры планировки и благоустройства городов Харьковского института инженеров коммунального строительства *Р. И. Любарского*, докт. техн. наук, проф. *Д. С. Самойлова*, а также коллектива отдела городского и внешнего транспорта Центрального научно-исследовательского и проектного института по градостроительству (ЦНИИП градостроительства), которым авторы выражают большую признательность.

Отзывы и пожелания по улучшению содержания книги просьба направлять по адресу: Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14, издательство «Высшая школа».

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

Общественная сущность человека и производственные отношения определяют необходимость информационного обмена и непосредственных контактов людей в различных сферах их деятельности, что связано с пешеходными и транспортными передвижениями. В настоящее время наблюдается непрерывный рост объемов грузовых и пассажирских перевозок, объясняемый общественным разделением труда и концентрацией производства, урбанизацией (распространением городского образа жизни и ростом городов), социально-экономическими потребностями и развитием транспортной техники.

Как показывают статистические данные, сейчас в среднем каждый шестой житель нашей планеты проживает в городах с населением более 1 млн. человек, каждый третий — в городе средних размеров и каждый четвертый — в небольшом городе. Наблюдается резкая концентрация населения в городах. Поэтому современную цивилизацию можно с полным правом называть городской.

Транспорт в городе играет роль кровеносной системы живого организма. Он обеспечивает возможность жизнедеятельности города как цельной системы с его административными, народнохозяйственными, культурно-просветительными и другими функциями. По мере роста организованности города его требования к городскому транспорту (ГТ) непрерывно растут. Это стимулирует развитие техники городского грузового и пассажирского транспорта. Однако происходит разрыв между техническими возможностями современного городского пассажирского транспорта (ГПТ) и их реальным использованием. Например, современный легковой автомобиль реализует техническую скорость до 200 км/ч и выше, а его реальная скорость в часы пик на улицах Парижа, Лондона, Нью-Йорка, Токио и других крупнейших городов не превышает иногда скорости пешехода — 4—5 км/ч. Чрезмерно мала также и скорость сообщения наземного городского массового пассажирского транспорта (ГМПТ) — трамвая, троллейбуса и автобуса: она составляет 15—18 км/ч, что создает различные трудности и проблемы.

Транспортные проблемы до некоторых пор удалось решать совершенствованием техники подвижного состава. В настоящее время это на-

правление не дает уже высокого эффекта. Назрела необходимость развития вопросов теории городских пассажирских перевозок и организации движения транспортных средств, т. е. пересмотра самих основ транспортного процесса. Поэтому в последние десятилетия непрерывно нарастает поток исследований в этой области — разрабатываются многочисленные проекты новых городских транспортных систем и различные аспекты теории городских пассажирских перевозок. Необходимы такие системы организации движения, которые обеспечивали бы максимальное качество пассажироперевозок при минимальных затратах транспортного времени населения, минимальной транспортной утомляемости и себестоимости в условиях дальнейшего развития автомобилизации. Решением этой проблемы занимаются специальные научно-исследовательские институты. В нашей стране ее решают Центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству (ЦНИИП градостроительства), Институт комплексных транспортных проблем при Госплане СССР (ИКТП), Академия коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР (АКХ МЖКХ РСФСР), Научно-исследовательский и проектно-технологический институт городского хозяйства Украины (НИКТИ ГХ УССР) и др. Аналогичные институты имеются и за рубежом. Вопросами координации исследований в области теории и практики городского транспорта в международном масштабе занимается Международный союз общественного транспорта (МСОТ), членом которого является и СССР, а также ряд региональных международных организаций. В рамках Совета Экономической Взаимопомощи социалистических стран (СЭВ) вопросами развития городского транспорта занимается, например Комитет по городскому транспорту.

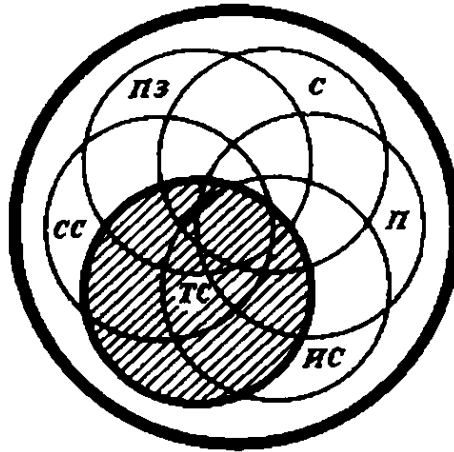
Вопросы пропорционального развития городского транспорта в нашей стране возникают из общей социальной задачи коммунистического строительства: задачи повышения жизненного уровня, материальной обеспеченности и духовного развития советских людей.

XXV съезд КПСС указал на необходимость «...обратить особое внимание на правильные пропорции между жилищным и коммунальным строительством и не допускать запаздывания в строительстве водопроводов, газовых сетей, городского транспорта, предприятий торговли»*.

Координированное развитие городского транспорта с жилищным и коммунальным строительством на научной основе представляет собой один из главных элементов нормального функционирования городов и предупреждения наблюдающегося за рубежом опасного нарастания нежелательных последствий непланового развития городского транспорта — роста транспортного травматизма, потерь общественно полезного времени населения в передвижениях и вредного воздействия городского транспорта на городскую экологическую среду.

* Материалы XXV съезда КПСС. М., 1976, с. 122.

Раздел первый



ТРАНСПОРТ В СИСТЕМЕ СОВРЕМЕННОГО ГОРОДА

Глава 1

ФУНКЦИИ ГПТ

§ 1.1. Виды городского транспорта и их удельный вес в городском движении

Городское движение разнородно. Его составляют пешеходные и транспортные потоки различного назначения. В целях безопасности движения и повышения эффективности использования площадей городских проездов их разделяют в пространстве города и направляют по специально отведенным территориям: тротуарам, полосам проезжей части улиц, искусственным надземным сооружениям (мостам, эстакадам) или подземным сооружениям (тоннелям).

Классификационная схема городского транспорта (ГТ) показана на рис. 1.1. По назначению ГТ разделяют на пассажирский, грузовой и специальный.

Городской пассажирский транспорт (ГПТ). Предназначен для перевозки населения в городской и прилегающей к ней зоне по различным целям: трудовым, деловым, общественным или культурно-бытовым. Объекты, определяющие цели передвижения городского населения (предприятия, театры, бытовые учреждения и др.), называют *центрами транспортного тяготения*.

По вместимости транспортных средств ГПТ подразделяют на индивидуальный пассажирский транспорт (ИПТ) — легковые автомобили, мотоциклы, велосипеды и массовый или общественный городской пассажирский транспорт (МПТ, ГМПТ) — трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен, городские железные дороги, речной трамвай и др. ИПТ характеризуется вместимостью порядка 1—8 человек, МПТ — вместимостью от 18—20 до 200—230 человек и более.

По системе организации движения ГПТ подразделяют на маршрутный и немаршрутный. Движение транспортных средств маршрутного

ГПТ организуют по определенным направлениям — маршрутам, оборудованным посадочными площадками, павильонами и маршрутными указателями для пассажиров. Движение транспортных средств немаршрутного ГПТ организуют на проезжей части улиц по системе свободного движения в пределах ограничений, накладываемых дорожными знаками, разметкой проезжей части и светофорной сигнализацией. В основном все виды современного МПТ работают по маршрутному принципу, а средства ИПТ — по системе свободного движения. Исключение составляют только маршрутные такси, которые по вместимости близки к ИПТ, а по организации движения — к МПТ.

Грузовой городской транспорт (ГГТ). Выполняет городские грузовые перевозки промышленного, коммунального и бытового назначения. В грузовом городском движении преобладают грузовые автомобили грузоподъемностью 2—25 т, а также (в меньшей степени) трамваи и троллейбусы, железнодорожный и водный транспорт. По системе организации движения ГГТ, как и ГПТ, подразделяют на маршрутный и немаршрутный. Маршрутную систему организации движения ГГТ применяют на направлениях постоянных грузопотоков, немаршрутную — при организации грузоперевозок в различные адреса по временным заявкам и заказам.

Доля ГГТ в общем городском движении современных городов относительно невелика ($\approx 1/3$ против $2/3$ движения ГПТ). Однако в различных городах доля грузового движения может быть самой различной. В движении ГПТ преобладает легковой автотранспорт (до 95% общего размера движения), основную долю которого составляют легковые автомобили личного пользования и меньшую — таксомоторы (такси), прокатные и ведомственные автомобили. На долю МПТ приходится менее 5% общего объема движения. В Москве, например, по данным обследований 1970 г., удельный вес легковых автомобилей в общем потоке движения составил 59%, мотоциклов и мотороллеров — 3%, грузовых автомобилей — 35%, автобусов и троллейбусов — 3%. Однако несмотря на такой небольшой удельный вес в общей величине городского движения, ГМПТ осваивает огромные пассажироперевозки, объем ко-

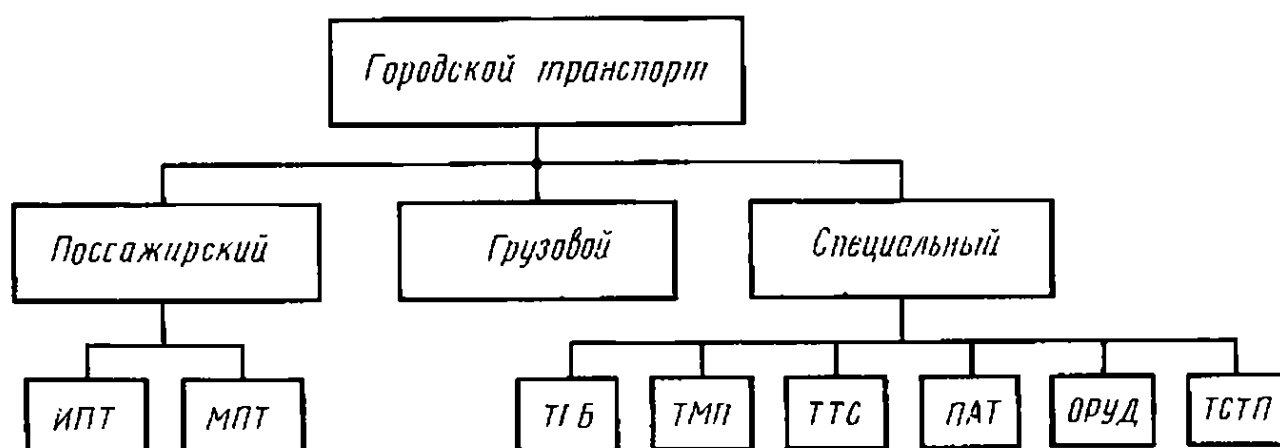


Рис. 1.1

Классификация ГТ по назначению

торых в СССР превышает в настоящее время 50 млрд. пасс/год, т. е. на порядок превышает все население земного шара.

Специальный городской транспорт (СГТ). Включает в себя транспортные средства городского благоустройства (ТГБ — поливальщики улиц, мусоро- и снегоуборочные машины, специальные машины по ремонту дорожных покрытий), санитарного транспорта скорой медицинской помощи и помощи на дому (ТМП), транспорта торговой сети (ТТС — специализированные автомашины «хлеб», «молоко», «мебель», «доставка продуктов на дом» и др.), пожарного автотранспорта (ПАТ), автотранспорта Отдела регулирования уличного движения Управления внутренних дел — (ОРУД, ГАИ), автотранспорт скорой технической помощи (ТСТП) и др. Доля этих видов транспорта в общегородском движении составляет обычно незначительную часть.

Для маршрутного ГПТ характерно движение по расписанию, т. е. регламентированное во времени и городском пространстве. Для остальных видов ГПТ и ГГТ движение или совсем не регламентируется во времени и пространстве (кроме ограничений, накладываемых разметкой проезжей части улиц, дорожными знаками и светофорной сигнализацией), или определенный объем таких регламентных ограничений движения задается (например, для маршрутного грузового транспорта), но он менее строг, чем на маршрутном ГПТ. Поэтому принципы организации движения маршрутного ГПТ резко отличаются от организации движения остального городского транспорта. В первом случае они осуществляются методом контроля за движением каждого отдельного поезда, во втором — методом контроля за движением транспортных потоков с делением их на грузовое и легковое движение по составу и прямое, правоповоротное и левоповоротное по направлению ожидаемого движения на перекрестках. При небольшой интенсивности грузовое и легковое движение часто даже и не разделяют.

§ 1.2. Основные элементы ГПТ и их системная связь

Состав основных элементов систем ГПТ определяется видом используемых в них транспортных средств — подвижного состава. В целом же системы ГПТ представляют собой сложные многоотраслевые хозяйства, основными элементами которых являются подвижной состав (ПС), путевые сооружения и устройства (ПУ), сооружения и устройства для хранения, технического обслуживания и ремонта подвижного состава (Д), сооружения и устройства энергоснабжения (обеспечения энергией) подвижного состава для выполнения транспортной работы (Э) и устройства организации движения подвижного состава на линии (ОД). Обобщенная структурная схема систем ГПТ показана на рис. 1.2, а.

Динамическую взаимосвязь элементов системы ГПТ можно условно изобразить с использованием элементарных понятий теории множеств схемой (рис. 1.2, б). Помимо элементов ПС, Д, ОД, ПУ, Э в ней выделяют двухэлементные системы Э-ПУ, ПС-Э, ПС-Д и др., трехэлементные системы ПС-Э-ОД, ПС-Д-ОД и др., четырехэлементные ПС-Д-ОД-Э, ПС-Д-ОД-ПУ и др. Система ГПТ является пятиэлементной системой ПС-ПУ-Э-Д-ОД.

Элементы ГПТ и их системные связи «работают» на перевозки пассажиров в условиях конкретного города и взаимосвязаны с его характеристиками. Основными из них являются функциональная, зонирования, размораживания центров массового тяготения населения, планировочная и территориальная.

Под *функциональной характеристикой города* понимают место в системе народного хозяйства страны и региона (агломерации), в котором он расположен, т. е. категорию города (административный, промышленный, курортный и т. д.) и характеристику его взаимосвязей с другими городами и поселениями в зоне, характеризующейся тесными народно-хозяйственными связями (ее называют системой группового расселения, регионом или агломерацией).

Зонированием называют деление города на зоны специализированной застройки с учетом комплекса функциональных, санитарно-гигиенических, архитектурных и транспортных соображений (промышленные, жилые, административные и культурно-бытовые центры, зоны массового отдыха и др.).

Взаиморазмещение центров массового тяготения населения определяет количество транспортных корреспонденций и их длину, затраты времени населения в передвижениях, объем работы ГПТ.

Планировочной характеристикой называют принципы застройки различных зон города. Они определяют такие градостроительно-транспортные показатели, как относительное количество местных (внутрирайонных) и городских (межрайонных) передвижений и их коэффициенты непрямолинейности.

В *территориальной характеристике* города различают административную, освоенную, селитебную и освоенную транспортом территории

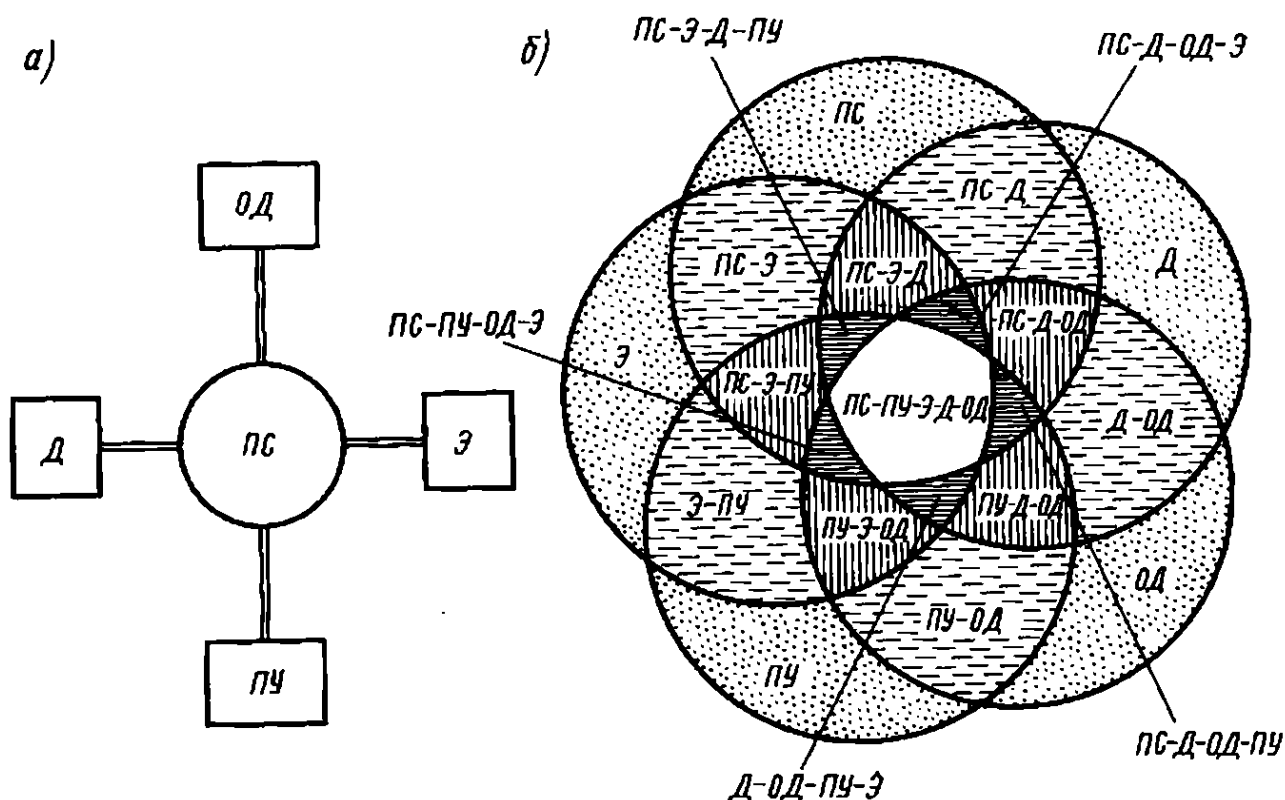


Рис. 1.2

города, а также характеристики его населенности и формы, оцениваемой коэффициентом компактности. *Административной* называют площадь города, заключенную в его административных границах; *освоенной* — административную за вычетом неосвоенных территорий (пустырей, заповедников, озер и т. д.); *селитебной* — территорию, занятую жилой, административной и культурно-бытовой застройкой; *освоенной транспортом* — территорию, находящуюся в зоне пешеходной доступности линий ГПТ.

Населенность города характеризуют абсолютным количеством жителей, прописанных в административных границах города, и плотностью расселения в среднем по городу и по его отдельным зонам или районам. *Форму* города оценивают соотношением его диаметральных размеров по различным направлениям и коэффициентами формы, определяемыми отношением диаметральных размеров реального города или отношением их к соответствующим размерам города-эталона той же площади и заданной формы (обычно круговой).

Особенности города определяют характеристики требующейся для него транспортной системы ГПТ и оказывают влияние на выбор видов транспорта, транспортных сооружений и системы организации движения.

Основной элемент любых транспортных систем — подвижной состав. По виду подвижного состава различают рельсовый и безрельсовый ГПТ. *Безрельсовым* называют подвижной состав с колесной ходовой частью и пневматическими колесами, предназначенный для движения по обычным дорожным покрытиям без специальных путевых направляющих устройств (автобусы и легковые автомобили). *Рельсовым* называют подвижной состав, требующий для направления движения специальных путевых направляющих устройств, например двухрельсовую колею с расположением рельсов в горизонтальной плоскости — обычный железнодорожный или трамвайный путь, а также рельсовый путь метрополитенов. Используемый в этих случаях подвижной состав оборудуется ходовыми частями, основным элементом которых является колесная пара с жесткой стальной осью* и стальными колесами**. Другим типом применяемых в настоящее время путевых направляющих устройств является путевая балка, используемая для направления подвижного состава монорельсового транспорта.

Для безрельсового подвижного состава с бесколесной ходовой частью на воздушной подушке или магнитной подвеске могут использоваться путевые устройства в виде лотка, монорельсовой балки, Т-образной балки и другие конструкции, проложенные на уровне земли, на эстакаде (в надземном уровне) или в тоннеле (в подземном уровне).

Системная связь подвижного состава и соответствующих ему путевых устройств во всех случаях определяется целым рядом технико-экономических характеристик: расчетными нагрузками, передаваемыми на путевые устройства, несущей способностью путевых устройств, их из-

* Иногда на рельсовом подвижном составе применяют разрезные (дифференциальные) оси.

** В современных конструкциях подвижного состава рельсового транспорта широко используют подрезиненные колеса со стальными бандажами, которые имеют значительно лучшие условия взаимодействия с путевыми устройствами по сравнению с цельнометаллическими жесткими колесами.

носостойкостью, капитальными затратами на сооружение, эксплуатационными расходами на содержание в технически исправном состоянии и др. Подвижной состав с колесной ходовой частью (рельсовый и безрельсовый) характеризуется, например, большими точечными нагрузками, передаваемыми на путевое устройство. Эти нагрузки, а также количество осей и частота движения подвижного состава определяют выбор запасов прочности, конструктивных характеристик и стоимость путевых устройств.

Сравнительные капитальные затраты на сооружение и эксплуатационные расходы на содержание путевых устройств и подвижного состава, отнесенные на 1 км длины транспортной линии, определяют экономически целесообразную частоту движения транспортных средств. Все эти системные связи реализуются в условиях конкретных пассажироперевозок и определяются характеристиками пассажиропотоков: мощностью, колебаниями во времени, средней длиной пассажиропоездки. Системные связи пассажиропотоков, подвижного состава и путевых устройств систем ГПТ оказываются весьма многообразными и сложными, трудно поддающимися математическому описанию и моделированию.

Для хранения, технического обслуживания и ремонта подвижного состава в эксплуатации создают специальные хозяйства: гаражи и станции технического обслуживания для автотранспорта, трамвайные и троллейбусные депо, депо подвижного состава метрополитенов, ремонтные мастерские и заводы. В гаражах и депо производят хранение, техническое обслуживание и небольшой по трудоемкости ремонт подвижного состава, на станциях техобслуживания — диагностику и техническое обслуживание, в ремонтных мастерских и на ремонтных заводах сосредотачивают крупные плановые и случайные ремонты. Мощность всех этих хозяйств определяется количеством используемого в транспортной системе подвижного состава, его пробегом и условиями эксплуатации. Затраты на техническое содержание и ремонт подвижного состава, связанные с поддержанием требуемого уровня его безотказности и работоспособности, являются важной статьей эксплуатационных расходов, определяющей себестоимость пассажироперевозок и, следовательно, рентабельность транспортной системы.

Для осуществления транспортной работы необходимо затрачивать энергию. Это определяет необходимость иметь в составе системы ГПТ ту или другую систему энергообеспечения подвижного состава. Современный автотранспорт имеет тяговые установки с карбюраторными или дизельными двигателями внутреннего сгорания и потребляет различные виды жидкого топлива: легковой автотранспорт — в основном бензин, грузовой и автобусы — бензин или дизельное топливо. Для обеспечения городского автотранспорта топливом и смазкой на транспортной сети создают сеть заправочных станций. Городской электрический транспорт (ГЭТ) приводится в движение тяговыми электрическими двигателями (ГЭД) и потребляет электрическую энергию. Современные виды ГЭТ — трамвай, троллейбус и метрополитены — имеют централизованную систему электроснабжения, при которой подвижной состав получает электрическую энергию от районных распределительных пунк-

тов городской энергосистемы через тяговые подстанции и тяговую сеть.

Различные виды энергоснабжения системно связаны с подвижным составом ГПТ не только по мощности и режимам работы, но и по ряду других характеристик. С работой системы электроснабжения рельсовой ГЭТ связаны, например, токи утечки в землю, разрушающие городское подземное хозяйство (трубопроводы водопровода и канализации, газопроводы, оболочки кабелей различных сетей и др.). Величина токов утечки при прочих равных условиях зависит от распределения подвижного состава по ТС. Использование установленной мощности тяговых преобразовательных подстанций ГЭТ определяется мощностью и схемами соединения ТЭД поездов, режимами их работы и частотой движения.

Организацией движения называют систему планирования движения и контроля за движением поездов на транспортной сети (соблюдением расписания), а также соответствием выпуска поездов на линию фактическому пассажиропотоку. В задачу организации движения входит устранение нарушений расписания движения (отклонений движения от заданного графика) и в некоторых случаях приведение выпуска в соответствие с отклонениями фактических пассажиропотоков от плановых. Она определяет регулярность следования поездов, скорость сообщения подвижного состава на маршрутах, качество пассажироперевозок и все основные технико-экономические показатели ГПТ. Необходимый состав технических средств организации движения и соответственно вкладываемые в них затраты определяются в конечном счете мощностью осваиваемых пассажиропотоков. В городах с большим объемом пассажироперевозок и разветвленной маршрутной сетью в настоящее время создают автоматизированные и автоматические системы организации движения.

Основным показателем, определяющим системную связь устройств ГПТ, является пассажиропоток (объем осваиваемых пассажироперевозок). Величина пассажиропотоков, их распределение по направлениям, колебания во времени и другие характеристики определяют основные характеристики маршрутной сети, выбор вместимости подвижного состава, частоту движения, мощность системы энергоснабжения и систему организации движения. Важное технико-экономическое значение имеет соотношение капитальных затрат в элементы систем ГПТ — подвижной состав, путевые устройства, системы энергоснабжения, устройства организации движения. Системы ГПТ, отличающиеся большой долей затрат на путевые сооружения и связанные с ними устройства, характеризуются низкой маневренностью, поэтому их рассчитывают на весьма длительный срок эксплуатации. Проектирование их требует особенно точного и надежного прогнозирования. Примером таких городских транспортных систем является метрополитен. Системы ГПТ, у которых основные капиталовложения приходятся на подвижной состав, отличаются высокой маневренностью и легкой приспособляемостью к изменениям пассажиропотоков. Примером таких транспортных систем является автобус и в несколько меньшей степени троллейбус, которые используют, в частности, для транспортного обслуживания районов новостроек, так как они не требуют длительного освоения.

§ 1.3. Влияние ГПТ на формирование и рост городов в условиях современной урбанизации

Возникновение городов явилось закономерным результатом общественного разделения труда и появления государственности. Первые города возникли как центры ремесла, административные центры и военные поселения. Населенность и территориальные размеры древних городов были небольшими, в результате чего все их точки находились в пределах «пешеходной доступности». Потребность в ГПТ возникла тогда, когда в результате роста городов их территориальные размеры превысили зону пешеходной доступности городского центра, оцениваемую затратами времени на пешеходный подход от периферии к центру города. В большинстве источников принимают зону максимальной пешеходной доступности городского центра в моноцентрических городах $t_{п.д. макс} = 30 \text{ мин} = 0,5 \text{ ч}$. При этом максимальный радиус пешеходной доступности $R_{\text{макс}} = v_{\text{пеш}} t_{п.д} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ км}$, где $v_{\text{пеш}} = 4 \text{ км/ч}$ — скорость пешеходного движения. Тогда предельные территориальные размеры (площадь) «пешеходного города» $S_{п. макс} = \pi R_{\text{макс}}^2 = 3,14 \cdot 2^2 = 12,56 \text{ км}^2$.

Развитие машинного производства потребовало мощного притока рабочей силы и способствовало неуклонному повышению продуктивности сельского хозяйства. Все это определило исключительно быстрые темпы урбанизации. К 1800 г. на всем земном шаре насчитывалось не более 50 городов с числом жителей свыше 100 тыс. человек. В городах проживало всего около 2% населения Земли. К 1970 г. доля городского населения возросла до 39% населения Земли, из них 11,5% проживало в городах-миллионерах с числом жителей 1 млн. и более.

Выход территориальных размеров городов за пределы зоны пешеходной доступности вызвал необходимость появления ГПТ для обслуживания городских пассажирских перевозок. ГПТ значительно расширил зону доступности городских центров, способствовал концентрации в них городского населения и дальнейшему территориальному росту. Тем самым с самого начала городской транспорт стал одним из решающих факторов градообразования: создание привязанных к отдельным направлениям — улицам систем городского транспорта определяло дальнейшее формирование улично-дорожной сети городов и характер их застройки. Одной из главных задач градостроительства стало создание такой планировки городов, которая способствовала бы сокращению транспортной потребности. Но последняя только непрерывно росла. Это определяется тем, что с территориальным ростом городов подвижность населения возрастает примерно пропорционально квадрату площади города. В принципе эта зависимость справедлива лишь с оговорками и, кроме того, рост подвижности городского населения имеет определенные ограничения, связанные с транспортными возможностями, но прогресс транспортной техники постоянно их раздвигает. В самом деле, феодальный пешеходный город и современный город с развитым транспортом имеют совершенно разные возможности подвижности в пределах тех же ограничений транспортного времени.

Принципиальная схема градообразования и его связи с развитием ГПТ показана на рис. 1.3. Начало городу дают те или другие градо-

образующие предприятия (ГОП), возникающие на местах добычи разведанных полезных ископаемых, например Магнитогорск, Караганда, Кривой Рог, Мирный, на торговых путях — Ленинград, Рига, Астрахань, в курортных зонах — города Юрмалы, Южного берега Крыма и Кавказа и др. Развитие ГОП создает вокруг них зону вакуума рабочей силы, привлекает самодеятельное население H из окружающих районов, вызывает необходимость жилищного строительства (ЖС) и возведения обслуживающих предприятий (ОП) — торговых центров, школ, больниц, культурно-бытовых предприятий. Размеры города постепенно увеличиваются и, наконец, на некоторой стадии перерастают зону пешеходной доступности. Создается потребность в ГПТ. Его появление обеспечивает возможность дальнейшего территориального роста города и его населенности.

История развития общества подтверждает, что транспорт способствовал разделению труда, дифференциации производства, накоплению и переработке информации во всех сферах человеческой деятельности, развитию культуры и тем самым общественному прогрессу человечества. С этой точки зрения каждый этап технического развития транспорта знаменует собой расширение и углубление влияния транспорта на развитие общества. Расширение возможностей городского транспорта всегда вызывало появление качественно новых возможностей развития производительных сил. Транспорт обеспечивает соединение производства с потребителями его продукции и косвенно саму возможность развития промышленного и сельскохозяйственного производства. Кроме того, он обеспечивает возможности повышения отдачи в производственной деятельности главной производительной силы общества — его людей за счет сокращения транспортного времени и тем самым увеличивает нерабочее время для учебы, отдыха, спорта и др. В современных условиях транспорт обеспечивает специализацию и кооперирование, представляющие собой основу современного промышленного производства.

Роль ГПТ в территориальном росте городов определяется его возможностями сокращения затрат транспортного времени. Исторический опыт показывает, что население городов стремится так распределиться в городе относительно жилых, промышленных, культурно-бытовых центров и транспортной системы, чтобы затраты времени в передвижениях не превышали примерно $t_d = 30 \div 40$ мин. Этот факт в трактовке советского исследователя канд. техн. наук Г. А. Гольца получил название *закона пространственной самоорганизации населения*, а величину t_d называют *константой пространственной самоорганизации городского*

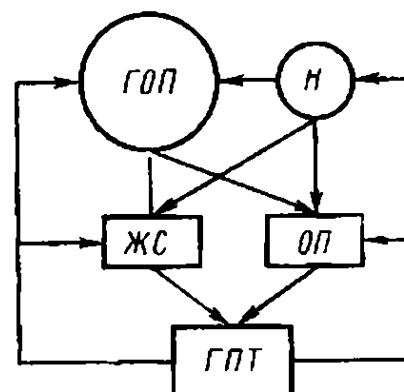


Рис. 1.3

Принципиальная схема развития города и его связи с развитием ГПТ

населения. Принимая ее за зону максимальной пешеходной доступности для корреспонденций из периферии к центру, получаем для «пешеходного города» линейный размер $R_{\max} = 2$ км и площадь $S_{\text{п. макс}} = 12,56 \text{ км}^2$.

Аналогично для города, обслуживаемого конным ГПТ, для которого характерна скорость сообщения $v_c = 8$ км/ч, получаем линейный размер $R_{\text{кон}} = v_c t_d = 8 \cdot 0,5 = 4$ км и $S_{\text{кон}} = \pi R_{\text{кон}}^2 = 3,14 \cdot 4^2 = 50,2 \text{ км}^2$.

Внедрение трамвая, имеющего $v_c = 16 \div 18$ км/ч, позволяет увеличить линейные размеры города $R_{\text{трамв}} = v_c t_d = (16 \div 18) \cdot 0,5 = 8 \div 9$ км и его площадь $S_{\text{трамв}} = \pi R_{\text{трамв}}^2 = 3,14(8 \div 9)^2 = 200 \div 250 \text{ км}^2$.

Скоростные виды ГПТ, такие, как метрополитен, пригородно-городские железные дороги, скоростные трамваи и автобус, обеспечивающие $v_c = 30 \div 40$ км/ч, позволяют расширить территориальные размеры города $R_{\text{скор}} = v_c t_d = (30 \div 40) \cdot 0,5 = 15 \div 20$ км и площадь $S_{\text{скор}} = \pi R_{\text{скор}}^2 = 3,14(15 \div 20)^2 = 706 \div 1250 \text{ км}^2$.

Первые города росли от центра к периферии, подобно росту ствола дерева: вокруг центра города, как сердцевины, нарастали все увеличивающиеся по размерам районы пригородов, поглощаемые городом. Такие города получили название *моноцентрических*. Их транспортные сети имели обычно радиальную или радиально-кольцевую структуру (рис. 1.4, а). Радиальные линии P обеспечивали прямое сообщение периферии с городским центром, а кольцевые K связывали периферийные районы, минуя центр.

При первоначально ограниченных возможностях ГПТ в моноцентрических городах наиболее плотно заселялись городские центры, в результате чего кривая плотности расселения населения $h_F(R)$ имела вид кривой 1. Перенаселенность городских центров крупных городов способствовала постепенному удалению из них зеленых насаждений и ухудшению экологической среды, способствовала росту транспортных потоков и тем создавала дополнительные трудности для ГПТ. Города стали

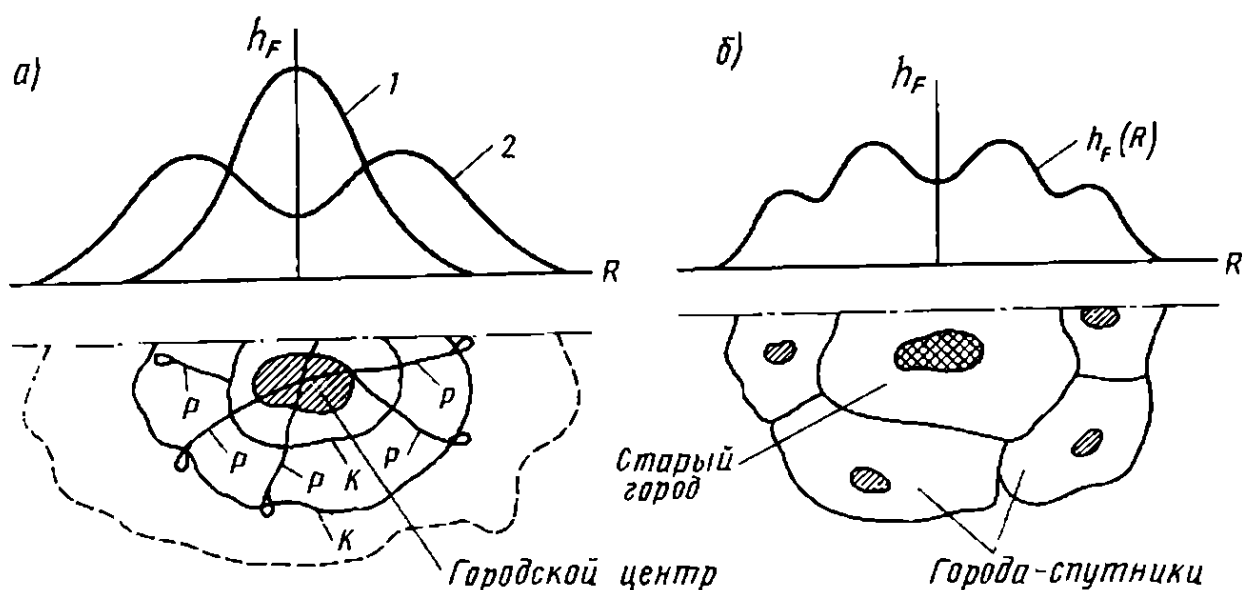


Рис. 1.4

Кривые плотности расселения населения моноцентрических (а) и полицентрических (б) городов

«душить» свои центры. Эту тенденцию ослабило развитие пригородного железнодорожного транспорта, благодаря которому пригородная зона пополняла резерв рабочей силы городов и тем «смягчала» необходимость строить дополнительные жилые дома в городе.

Положение изменилось примерно в середине нашего столетия, когда появился легковой автомобиль, имеющий большие скоростные возможности и комфортабельность. Это значительно расширило зоны транспортной доступности в пригороды и способствовало быстрому изменению характера расселения городского населения, которое стало предпочитать городским центрам зеленые пригороды. Расселение приобрело вид кривой 2. Города быстро разрастались за счет пригородов и городов-спутников, в результате чего моноцентрические города начали превращаться в *полицентрические* — города с несколькими городскими центрами. Общегородской центр потерял роль единственного центра тяготения городского населения, и кривая его расселения значительно выравнилась. В городских центрах начали создавать зеленые зоны, улучшать их санитарное состояние. Принципиальная схема полицентрического города и соответствующая ему кривая плотности расселения показаны на рис. 1.4, б.

Дальнейший рост полицентрических городов особенно в странах с большой плотностью населения, таких, как США, Япония и страны Западной Европы, привел к их частичному слиянию и образованию огромных зон сплошного заселения — агломераций, протянувшихся на сотни километров и занимающих площади в тысячи квадратных километров. Эти агломерации получили название городов-галактик, мегаполей или мегаполисов. Такой мегаполис, насчитывающий около 40 млн. человек населения, образуют в восточных штатах США города Бостон, Нью-Йорк, Ньюарк, Филадельфия, Балтимора, Вашингтон и ряд других более мелких; в Японии мегаполис образует район между Токио и Осака; во Франции — районы Парижской агломерации, простирающейся от Орлеана до Гавра по течению реки Сены; Лазурного берега от Марселя до Пизы и др. В нашей стране в мегаполисы превратились район Юрмала на Рижском взморье, южное побережье Крыма и ряд других районов. Таким образом, ГПТ, способствовавший в XIX в. стремительной концентрации городского населения, в XX в. привел к его децентрализации, стремительному росту городов вширь и образованию полицентрических городов, которые начали затем сливаться в сверхгорода — мегаполисы.

Транспортное обслуживание мегаполисов осуществляется в настоящее время электро- и турбопоездами, реализующими скорости до 200 км/ч. Предполагается повысить эту скорость в ближайшее время до предела технико-экономических возможностей колесного транспорта — порядка 240—250 км/ч. Однако для обслуживания мегаполисов такие скорости совершенно недостаточны. Поясним это простейшим расчетом. Возьмем мегаполис сравнительно небольших размеров — с диаметром порядка 400 км. Примем затраты времени на передвижение между крайними точками мегаполиса $t_{\text{макс}} = 60$ мин. Тогда требующаяся средняя скорость сообщения ГПТ $v_c = D/t_d = 400/1 = 400$ км/ч. Такие и даже значительно более высокие скорости доступны в настоящее

время только для воздушного транспорта, но дополнительные затраты времени на проезд к аэропортам настолько велики, что при поездках на небольшие расстояния примерно 400 км «съедают» все его преимущества. Пассажироперевозки вертолетным транспортом, видимо, не разовьются вследствие его низкой провозной способности. Следует иметь в виду реализацию проектов бесколесного транспорта, способного развивать скорости до 500 км/ч и более, которые уже близки к осуществлению.

Имеются, однако, прогнозы, позволяющие сделать вывод, что сверхвысокие скорости сообщения на городском транспорте не потребуются. В связи с продолжающимся демографическим взрывом (быстрым ростом народонаселения Земли) центральное место в градостроительном прогнозировании отводится так называемому «пространственному градостроительству» — проектированию городов в несколько уровней с минимальным использованием поверхности земли. Идея устройства искусственных уровней уже давно реализуется в современных городах при строительстве транспортных многоярусных магистралей и в архитектуре небоскребов. Однако последняя — это архитектура замкнутых в себе объемов, не связанных между собой. Имеются в виду связанные объемы единого города высотой до 1000—1500 м. Примеры проектов пространственных городов, предложенных зарубежными градостроителями, показаны на рис. 1.5 [21]: а — «город-воронка» — городская еди-

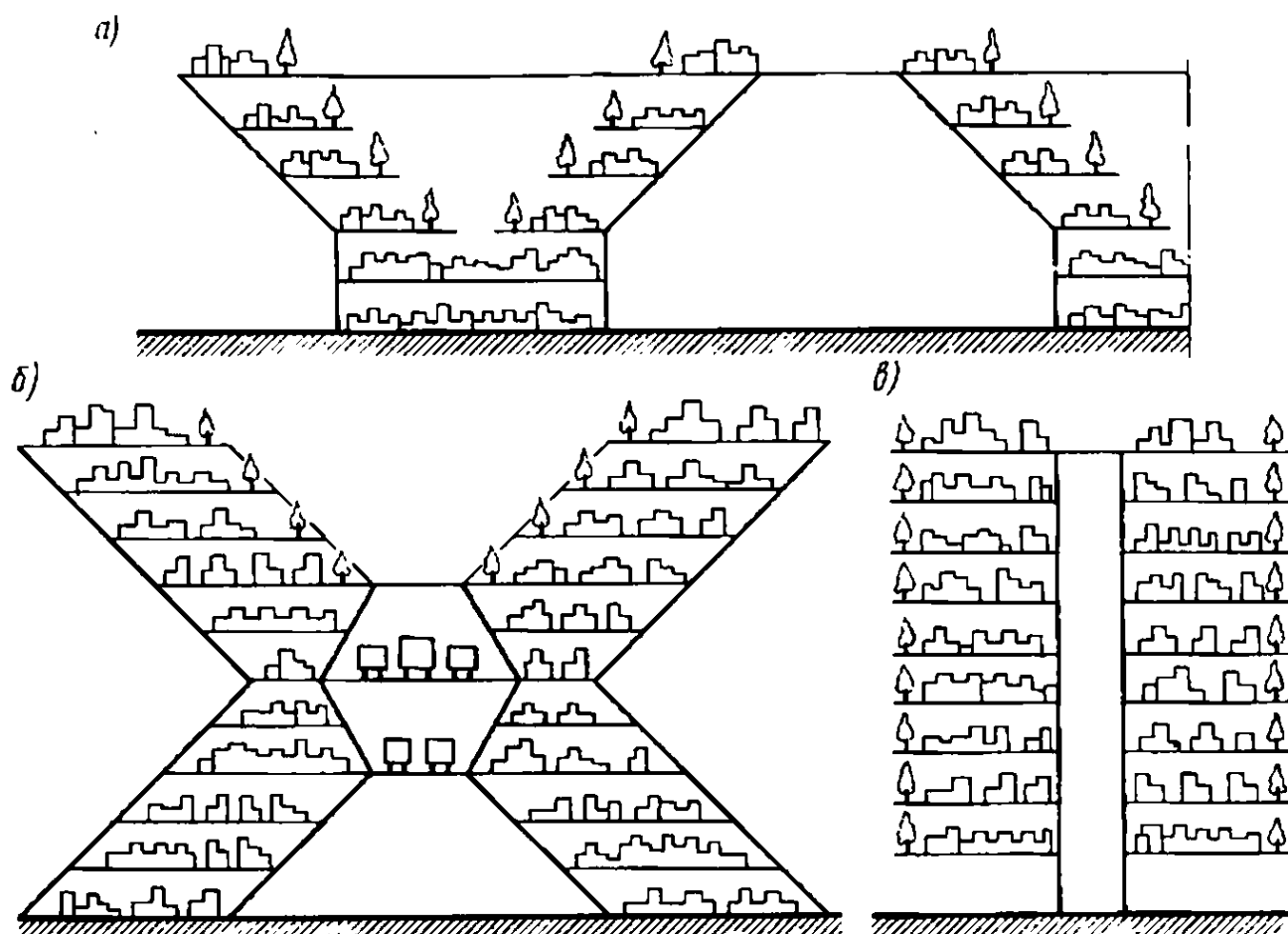


Рис. 1.5

Примеры проектов пространственных городов будущего

ница («Интрахауз») архитектора Вальтера Ионаса, б — «Х-город» архитекторов Биро и Фернье, в — «прозрачный» древовидный город Э. Альбера с жилыми объемами, подвешенными на опорных уровнях. В этих городах преобладает вертикальный транспорт — грузовые и пассажирские лифты, раскрытые объемы определяют «прозрачность» города для солнечных лучей, а поверхность земли освобождена для использования под зеленые насаждения, сельскохозяйственные территории, спортивные комплексы и места отдыха.

Большое внимание прогностике градостроительства уделяют и в нашей стране. Над этой проблемой работают научные коллективы Государственного комитета по гражданскому строительству и архитектуре (ЦНИИП градостроительства, ЦНИИЭП жилища и др.). Градостроительные прогнозы опираются на развернутые, основанные на теории научного коммунизма, прогнозы социальных условий жизни будущего общества. Центральное место занимает прогнозирование ожидаемых в будущем форм труда и организации свободного времени населения.

Проектный прогноз так называемого «нового города», разработанный Центральным научно-исследовательским и проектным институтом градостроительства, рассчитан на использование принципов объемной архитектуры. Поверхность земли, как и в проектах «прозрачных» объемных городов зарубежных архитекторов, максимально освобождается и отводится под зеленые насаждения и культурно-спортивные комплексы. Жилые комплексы расположены в надземных уровнях с минимальным числом точек опирания на землю. Грузовые перевозки, коммунально-хозяйственные и другие обслуживающие объекты размещаются в подземных уровнях. ГПТ разделяется на несколько взаимосвязанных систем, расположенных в разных уровнях и связанных каналами вертикальных коммуникаций. Характерно, что транспортные проблемы городов будущего решаются даже современной транспортной техникой, так как локализованные транспортные системы этих городов не требуют больших скоростей движения.

Одним из характерных принципов градостроительства будущего станет, видимо, принцип мобильности, характерный для нашего века. Города в прошлом создавались на столетия: застраивались зданиями, рассчитанными на века. Однако техника идет вперед и принципы градостроительства устаревают. Город должен быть живым организмом, изменяемым в соответствии с требованиями времени. Характерно в этом отношении, что далеко не всегда принципы застройки, навязанные градостроителями, принимались городским населением: оно само «обживает» город и создает расселение, часто неожиданное для проектировщиков. Поэтому города будущего должны иметь технические решения, позволяющие менять принципы застройки, предоставлять населению свободу выбора образа жизни, изменять жилище и планировку в зависимости от развития уровня техники. Предполагают, что в городах будущего жилые объемы будут представлять собой портативные легкие оболочки в виде жилых ячеек из пластмасс, легко приспособляемые к различным запросам. Элементы такой архитектуры закладывают уже сейчас. Соответственно в будущем должны быть созданы и легкие,

мобильные, рассчитанные на сравнительно небольшие сроки службы транспортные системы.

Поэтому транспорт для города не самоцель, а средство обеспечения возможности его нормального функционирования. В связи с этим развитие ГПТ неразрывно связано с принципами и прогнозированием развития градостроительства. Оптимальное решение города может быть получено только на основе их правильной увязки. Нельзя полагать, что транспортная система должна «приспосабливаться» к городу или город к его транспортной системе. Город должен создаваться совместно с его транспортной и другими системами (инженерных коммуникаций, связи и др.) по критериям максимальной общей эффективности. При этом несомненно, что с ростом территориальных размеров и населенности городов ГПТ становится все более решающим фактором градообразования, оказывает все более глубокое воздействие на принципы градостроительства, архитектуру городов и возможность сохранения их функциональной целостности.

Основу современной градостроительной концепции, которая вероятно сохранится и в будущем, составляет функциональное зонирование территории города, включающее в себя два уровня: макроуровень — рациональное размещение в плане города промышленных и селитебных районов, общегородского культурно-бытового центра, объектов внешнего транспорта (железнодорожных станций, аэропортов, речных и морских портов) и других с учетом санитарно-гигиенических, почвенно-геологических, топографических, архитектурных и других (в том числе транспортных) соображений и микроуровень — рациональную планировку промышленных и селитебных зон.

Селитебные зоны в функциональном отношении делят на жилые районы и микрорайоны. В основу этого деления положены принципы организации единой ступенчатой системы их культурно-бытового обслуживания с разделением функций повседневного и периодического культурно-бытового обслуживания, задачи обеспечения оптимальных условий проживания населения и удобства транспортных связей жилых районов с местами приложения труда, общественными центрами и зонами отдыха.

Первичной территориальной ячейкой селитебных зон является *микрорайон* — функциональное и архитектурно-планировочное объединение жилых домов с учреждениями всех видов общественного обслуживания, призванных удовлетворять повседневные культурно-бытовые и учебно-воспитательные потребности населения, — продовольственными и промтоварными магазинами, парикмахерскими, пунктами химчистки, прачечными, школами, детскими садами и яслями, библиотеками, домами культуры, спортивными комплексами и др. Микрорайоны объединяют в *жилые районы* на основе общего комплекса культурно-бытовых учреждений периодического пользования — крупных торговых центров, кино-театров и театров, спортивных комплексов районного значения и т. д. Жилые районы объединяются в *селитебные* или *селитебно-производственные* зоны.

Функциональное деление территории города на зоны, районы и микрорайоны тесно связано с их транспортной организацией. Жилые

районы размещают в межмагистральных территориях, оконтуренных магистральными дорогами городского и районного значения, обслуживаемыми линиями МПТ. Внутри их прокладывают только жилые улицы, на которых допускают движение легкового автотранспорта, и пешеходные аллеи. Благодаря замкнутой системе культурно-бытового обслуживания большинство передвижений населения с культурно-бытовыми целями замыкается внутри жилых районов, что способствует безопасности движения на оконтуривавших их магистралях. Плотность сети магистральных улиц, обслуживаемых линиями МПТ, определяющую размеры межмагистральных территорий, выбирают с учетом допустимых затрат времени на подход к ближайшим остановкам МПТ, которые для наиболее удаленных точек межмагистральной территории не должны превышать 7—8 мин, что соответствует максимальной дальности подхода к остановкам $l_{\text{пеш. макс}} = 500$ м. С учетом коэффициента непрямолинейности подходов максимальный радиус обслуживания остановок $R = 0,8 l_{\text{пеш. макс}} = 0,8 \cdot 500 = 400$ м (что соответствует коэффициенту непрямолинейности подхода $k_{\text{нп}} = 1/0,8 = 1,25$). В пределах максимального радиуса пешеходной доступности должна находиться вся межмагистральная территория (см. рис. 3.6 и 5.2).

§ 1.4. Архитектурно-градостроительные и эксплуатационные требования к ГПТ

Основные требования, предъявляемые к системам ГПТ, можно разделить на архитектурно-градостроительные и эксплуатационные.

Архитектурно-градостроительные требования определяют соответствие подвижного состава и дорожных сооружений систем ГПТ городской застройке, а также современным и перспективным направлениям градостроительства. Их можно сформулировать в виде трех положений:

1. Подвижной состав и дорожные сооружения систем ГПТ должны «вписываться» в архитектурный ансамбль города и составлять предмет его украшения, а не ухудшать композицию города и его улиц. Подвижной состав и дорожные сооружения МПТ должны иметь красивые современные формы, быть композиционно цельными, строгими и информативными, отвечать современным требованиям технической эстетики. На поверхности улиц необходимо предусматривать минимум сооружений и устройств систем МПТ. По возможности их нужно убирать в зоны зеленых насаждений, с поверхности улиц и встраивать в окружающую застройку. Особого внимания требует, в частности, проектирование контактной сети ГЭТ. Подвеска контактной сети не должна создавать впечатления паутины, закрывающей улицы. Более предпочтительна с этой точки зрения цепная подвеска контактной сети с большими пролетами на красивых, вписывающихся в ансамбль улиц опорах и неудовлетворительна контактная сеть на поперечных растяжках.

Основной фактор, определяющий возможности вписывания систем ГПТ в городскую застройку, — ширина дорожных проездов, их план и профиль, характер застройки. На узких улицах с жилой застройкой в условиях интенсивного пешеходного движения ГПТ не может функционировать нормально и не гармонирует городской застройке, подчеркивает

стесненность ее объемов. Для обеспечения потребностей транспортного обслуживания в этих условиях приходится проводить дорогостоящие реконструкции городов, связанные со сносом зданий, выравниванием и прокладкой новых транспортных магистралей, которые характерны для всех старых городов, в том числе и Москвы.

Поэтому вновь создаваемые города должны быть рассчитаны на определенную схему транспортного обслуживания уже в проектах, а транспортные магистрали согласованы с выбранными видами ГПТ по архитектурно-эстетическим критериям. Опыт современного градостроительства, в частности в Киеве и Москве, показывает, что при правильном проектировании транспортных магистралей архитектурно-градостроительным требованиям удовлетворяют все современные виды ГПТ — трамвай, троллейбус, автобус и др.

2. Работа подвижного состава на линии не должна создавать неудобства населению прилегающих районов жилой застройки города в виде шума, загазованности воздуха, пылеобразования и т. п. Борьба с ними имеет особое значение в современных крупных городах с интенсивным движением ГПТ. На промышленных предприятиях шум рассматривают как одну из профессиональных вредностей, снижающей производительность труда на 15—20%, приводящей к росту травматизма и профессиональных заболеваний рабочих. Для городского же населения шум, создаваемый ГПТ, является постоянно присутствующим раздражителем. Установлено, что городской шум — причина роста среди городского населения сердечно-сосудистых и желудочных заболеваний, гипертонии, нервных расстройств, потери слуха и работоспособности. Предельный уровень шума по действующим строительным нормам и правилам (СНиП) в комнатах жилых домов не должен превышать 30 дБ и на территориях, непосредственно примыкающих к жилым домам, — 40 дБ.

Для снижения транспортного шума при проектировании городов необходимо предусматривать соответствующие санитарные разрывы между линиями МПТ и городской застройкой, звукопоглощающие барьеры на путях распространения шума (зеленые насаждения), проектировать и выбирать бесшумный подвижной состав, звукогасящие конструкции путевых устройств и совершенствовать системы организации движения ГПТ.

Еще большее значение имеет проблема борьбы с загрязнением воздушного бассейна городов пылью и главным образом токсическими выделениями автотранспорта. Автобусы выделяют в атмосферу такие канцерогенные вещества, как окись углерода, окислы азота, углеводороды, альдегиды, соединения свинца и т. д. По СНиП содержание окиси углерода на улицах городов с интенсивным движением допускается 3 мг/м³. Однако во многих городах оно значительно превышает нормы. Загрязненность городского воздуха способствует развитию легочных, сердечно-сосудистых и других заболеваний, вредно действует на центральную нервную систему, резко снижает работоспособность.

Особенно остро проблема борьбы с загрязнением атмосферы продуктами сгорания автомобильных топлив стоит в крупных городах зарубежных стран с интенсивным автомобильным движением — в городах США, Англии, Франции, ФРГ, Японии и др. Борьба с загрязнением

атмосферы городов ведется в настоящее время по всем направлениям. Для автотранспорта разрабатывают различные конструкции нейтрализаторов отработанных газов (дожигателей), новые конструкции двигателей взамен двигателей внутреннего сгорания (карбюраторных и дизельных): газогенераторные, двигатели внешнего сгорания Стирлинга, паровые двигатели и т. д. Ведут разработки специального «городского» типа безвредного автомобиля, в том числе электромобилей с новыми видами аккумуляторов и топливными элементами. Значительное снижение объема вредных выбросов в атмосферу обеспечивает рационализация организации движения автотранспорта на улицах городов.

3. Подвижной состав системы МПТ должен хорошо вписываться в общетранспортный поток, а дорожные сооружения не должны мешать другим транспортным потокам, пешеходам и городской застройке.

Наилучшим решением является отделение МПТ от остального городского движения с выносом его на надземный или в подземный уровень, но это требует больших затрат. Более дешевы транспортные эстакады, но они ухудшают планировочно-архитектурное решение городов. При работе в общем потоке транспорта целесообразно выделение для МПТ специальных обособленных полос движения, но это экономически оправдывается только при большой интенсивности движения МПТ. При работе МПТ в общем потоке транспорта снижаются использование пропускной способности городских магистралей и скорости сообщения всех транспортных средств. Это увеличивает транспортное время и ухудшает эксплуатационно-экономические показатели транспортной системы. Поэтому предпочтение нужно отдавать тому виду ГПТ, которым осуществляется основная масса пассажироперевозок. Этот подход обусловлен интересами транспортного обслуживания населения, а также экономическими соображениями и решается экономическими расчетами. В зарубежных странах, где отдельные виды ГПТ развиваются хаотично, основная масса пассажироперевозок осуществляется средствами индивидуального автотранспорта, что резко ограничивает и парализует движение МПТ. В СССР соблюдается плановый и в основном научно обоснованный выбор и проектирование видов ГПТ, что обеспечивает лучшее транспортное обслуживание населения городов.

Достаточно хорошо вписываются в общетранспортный поток автобус и троллейбус. Наибольшее мешающее влияние на общетранспортный поток оказывает трамвай при трассировке по оси улиц. На обычных нешироких улицах он требует остановки движения попутного автотранспорта перед остановочными пунктами при пассажирообмене и вызывает задержки его на перекрестках.

Эксплуатационные требования. Определяют безопасность, экономичность, удобство пользования системами ГПТ и их способность приспосабливаться к меняющемуся пассажиропотоку. Главные из этих требований:

1. Безопасность всех элементов системы ГПТ для пассажиров, остального транспортного потока и пешеходов, которая обеспечивается главным образом надежностью (безотказностью) работы подвижного состава, дорожных сооружений, устройств контроля и регулирования движения и систем электроснабжения ГЭТ. В наибольшей степени тре-

бованиям безопасности удовлетворяет внеуличный ГПТ типа метрополитенов, полностью отделенный от остального городского движения и имеющий пересечения в разных уровнях. За ним следует наземный рельсовый ГЭТ. Наибольшую опасность представляет безрельсовый транспорт. Огромное влияние на статистику дорожно-транспортных происшествий (ДТП) оказывает дисциплина дорожного движения, которую определяют четкость построения системы организации движения и дорожная дисциплина водителей транспортных средств и особенно пешеходов.

2. Высокое качество перевозочной работы, которое оценивается показателями удобства расположения остановочных пунктов по затратам времени на подход и уровня комфорта, предоставляемого пассажирам при ожидании транспорта; затратами времени на ожидание транспорта; удобством посадки и высадки пассажиров в поезда; регулярностью движения; комфортабельностью проезда и затратами транспортного времени; уровнем транспортной утомляемости пассажиров.

3. Высокая эксплуатационная экономичность, обеспечивающая необходимую фондоотдачу, которая определяется интенсивностью полезного использования всех элементов и устройств ГПТ (подвижного состава, дорожных сооружений, системы электроснабжения и др.). ГПТ должен требовать минимальных капитальных затрат (особенно в дорожные сооружения) и эксплуатационных расходов.

Интенсивность использования подвижного состава определяется его наполнением пассажирами и временем полезной работы на линии. Необходимо обеспечивать равномерное оптимальное наполнение подвижного состава пассажирами по всей длине маршрутов МПТ. Повышение времени полезной работы подвижного состава на линии требует четкой организации движения, снижения «нулевых» пробегов и простоев подвижного состава в рабочее время поездных бригад.

Интенсивность использования дорожных сооружений определяет частота движения, которая должна быть максимальной. Увеличение частоты движения не только повышает коэффициент использования дорожных сооружений, но и сокращает время ожидания транспорта, снижая тем самым трудность сообщения и повышая транспортную доступность. Практические возможности повышения частоты движения при заданной вместимости подвижного состава ограничиваются пассажиропотоком. Максимальную интенсивность использования дорожных сооружений обеспечивают системы непрерывного ГПТ — движущиеся тротуары.

Интенсивность использования устройств систем электроснабжения ГЭТ определяется регулярностью и частотой движения подвижного состава. Она тем выше, чем выше равномерность транспортной нагрузки системы и меньше колебания тягового тока во времени по часам суток, дням недели и сезонам года.

Большие возможности повышения эксплуатационной экономичности систем ГПТ связаны с автоматизацией транспортных процессов. Сама по себе автоматизация систем ГПТ требует значительных капитальных затрат, но при достаточно больших и устойчивых пассажиропотоках они быстро окупаются за счет снижения эксплуатационных рас-

ходов. Прогрессивным направлением развития современного ГПТ в крупных городах является поэтому комплексная автоматизация всех его подсистем — внедрение автоматизированных систем управления городским пассажирским транспортом (АСУ ГПТ).

4. Высокая гибкость систем ГПТ, их маневренность, т. е. легкая приспособляемость к изменениям пассажиропотока. Маневренность ГПТ обеспечивается:

а) маневренностью подвижного состава (возможностью бесперерывного продолжения движения на линии при остановке того или другого поезда по причине повреждения с потерей способности к самостоятельному передвижению);

б) маневренностью транспортной сети (минимумом затрат средств и времени, связанных с расширением или изменением транспортной сети или потерь, связанных с ее сокращением);

в) маневренностью маршрутной системы (возможностями оперативного изменения маршрутов, назначения временных маршрутов и др.);

г) гибкостью системы организации движения (быстротой получения информации о фактических пассажироперевозках и возможностями оперативного вмешательства в перевозочный процесс с целью приведения его в соответствие с фактическими потребностями в пассажироперевозках). Наилучшие результаты в этом плане достигаются в АСУД с применением ЭВМ.

Из современных видов МПТ наиболее маневренным является автобус. Его движение может быть организовано практически на любых уличных проездах, а организация движения требует минимальной подготовки и минимальных дорожных сооружений. Менее маневрен троллейбус, так как требует подвески контактной сети, сооружения тяговых подстанций и прокладки кабельных сетей системы электроснабжения. Еще меньшую маневренность имеет трамвай вследствие трудностей изменения рельсовой сети и отсутствия возможности обгона аварийных поездов на линии. Тем не менее при устройстве пересечений в одном уровне и достаточно разветвленной сети трамвай характеризуется удовлетворительной маневренностью маршрутной системы. Самую низкую маневренность имеет метрополитен, что определяется и огромной стоимостью его тоннелей, которая исключает маневренность транспортной сети, и устройством пересечений в разных уровнях из соображений безопасности движения, которое исключает маневренность маршрутной системы. Максимальной маневренностью, но низкой провозной способностью отличаются немаршрутный ГПТ индивидуального пользования и новые системы ГПТ типа Personal Rapid Transit (PRT) — так называемые кибертакси — системы МПТ, рассчитанные на обслуживание пассажиров по принципу свободного безостановочного и беспересадочного движения в пределах заданной транспортной сети с произвольным или регламентированным выбором пунктов прибытия.

§ 1.5. Критерии оценки народнохозяйственной эффективности ГПТ

Народнохозяйственным назначением ГПТ является обеспечение населения городов перевозками при минимальных затратах общественно полезного времени в передвижениях, максимальном транспортном ком-

форте, обеспечивающем минимальную транспортную утомляемость, минимальной себестоимости транспортной работы для транспортных предприятий. Это связано с тем влиянием, которое оказывает ГПТ на материальное производство современных городов. Как известно, транспорт относится не к сфере материального производства, а к сфере обслуживания, сфере сервиса. Он не создает материальных ценностей, но обеспечивает их создание транспортным обслуживанием промышленных предприятий. Без ГПТ зона влияния промышленных предприятий на город ограничивалась бы зоной пешеходной доступности с небольшим количеством населения, неспособным обеспечить их рабочей силой. ГПТ расширяет эту зону и распространяет ее практически на весь город. От четкой работы ГПТ зависит своевременная доставка рабочих и служащих от мест жительства к местам приложения труда и, следовательно, ритмичность работы промышленных предприятий.

Работа ГПТ определяет затраты времени рабочих и служащих на трудовые перемещения и степень утомляемости их в трудовых поездках, оказывающих прямое влияние на рабочее настроение и производительность труда. К сожалению, непроизводительные затраты времени городского населения на передвижения составляют миллиарды человеко-часов. Объем пассажироперевозок ГПТ в СССР в 1975 г. составил около 50 млрд. пассажиров. Принимая средние затраты времени на одну пассажиропоездку примерно 30 мин (0,5 ч), получаем, что общие затраты транспортного времени $50 \cdot 0,5 = 25$ млрд. пасс-ч. При средней продолжительности жизни человека, равной 70 лет, они эквивалентны продолжительности жизни примерно 41 тыс. человек: $25 \cdot 10^9 / (365 \cdot 24 \cdot 70) = 41 \cdot 10^3$. Из 16 ч суточного бюджета времени (исключая 8 ч сна) городской житель до 7—8% и более тратит на передвижения по разным целям, поэтому сокращение непроизводительных затрат транспортного времени городского населения является исключительно важной народнохозяйственной задачей. Сокращение затрат транспортного времени означает возможность полезного использования его в сфере материального производства и для организации культурного досуга: отдыха, учебы, занятия спортом и т. д.

Велико влияние работы ГПТ и на производительность труда рабочих и служащих, занятых в городском хозяйстве. Максимальная продолжительность трудовых передвижений по действующим в настоящее время строительным нормам и правилам (СНиП) для 80—90% трудящихся не должна превышать в один конец 40 мин в крупнейших и крупных и 30 мин в остальных городах [35, п. 8.11]. По данным исследований Белорусского института инженеров железнодорожного транспорта (БИИЖТ) увеличение времени трудовых поездок только на 10 мин сверх этого нормативного приводит к снижению производительности труда трудящихся примерно на 2,5—4%.

По данным обследований на автозаводах «Саксенринг» (ГДР) производительность труда рабочих, проживающих в радиусе 5 км от завода, ниже на 12%, а у проживающих далее 5 км — на 22% ниже по сравнению с проживающими в зоне пешеходной доступности и не пользующихся транспортом [22]. Это связано с тем, что вследствие транспортной утомляемости рабочие, приезжающие на работу издалека, медленнее

и с запозданием входят в трудовой процесс и раньше начинают готовиться к поездке домой. Поэтому некоторые авторы считают, что трудовые поездки к местам работы следует рассматривать как часть рабочего дня и оценивать в стоимостном выражении как рабочее время.

Характер влияния затрат транспортного времени T на транспортную утомляемость TU и производительность труда $ПТ$ показан на рис. 1.6. Существует определенный предел транспортного времени $T_{\max}$, после которого снижение производительности последующего труда и нарастание транспортной утомляемости проявляется особенно резко. С увеличением времени поездки прогрессивно снижается сопротивляемость организма человека вредным внешним воздействиям. Поэтому по средним статистическим данным лица, затрачивающие на трудовые поездки более часа, имеют в 1,5—2 раза больше дней невыхода на работу по болезни в сравнении с теми, которые затрачивают на поездки до 30 мин [22].

Таким образом, народнохозяйственное значение ГПТ состоит в том, что через качество транспортного обслуживания он непосредственно влияет на материальное производство. Количественный учет этого влияния — сложная задача. В работе ГПТ основным является не прибыльность транспортных предприятий, а тот народнохозяйственный эффект, который связан со снижением затрат транспортного времени населения и повышением комфортабельности пассажироперевозок. В настоящее время стоимость транспортного времени принимают равной 0,15 руб/ч, но достаточно обоснованной ее считать нельзя. Вопросы количественной оценки народнохозяйственной эффективности работы ГПТ требуют серьезного научного исследования и еще ждут своего решения.

В связи с критериями народнохозяйственной эффективности ГПТ следует отметить, что общепринятая оценка финансово-хозяйственной деятельности предприятий ГПТ по рентабельности и себестоимости пассажироперевозок не является обоснованной, так как повышение показателей рентабельности и снижение себестоимости пассажироперевозок могут достигаться за счет снижения качества транспортного обслуживания, т. е. снижения народнохозяйственной эффективности ГПТ.

Повышение технической оснащенности ГПТ и частоты движения, уменьшение максимальной наполняемости подвижного состава в часы пик, использование сложных современных автоматизированных систем организации движения с целью повышения регулярности движения и другие усовершенствования повышают себестоимость и снижают рентабельность пассажироперевозок. В связи с этим большинство предприя-

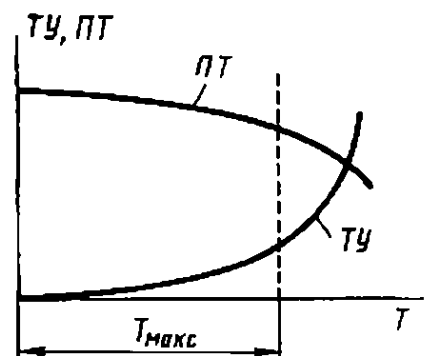


Рис. 1.6

Влияние затрат транспортного времени T на транспортную утомляемость TU и производительность труда $ПТ$

тий ГМПТ за рубежом стали убыточными с 40-х годов. К 1975 г. большинство трамвайных и троллейбусных предприятий стали убыточными и в нашей стране. Растет количество убыточных автобусных предприятий, неуклонно снижается прибыльность метрополитенов. Снижение рентабельности выступает, таким образом, как объективная закономерность развития ГПТ. Для сохранения на предприятиях ГПТ хозрасчета, как общепризнанного принципа социалистического хозяйствования, требуются другие показатели планирования его хозяйственной деятельности.

Глава 2 ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГПТ

§ 2.1. Исторические этапы развития ГПТ

В истории развития ГПТ различаются пять периодов: конной, паровой и электрической тяги, автомобилизации и современный период — период возрождения МПТ в условиях научно-технической революции с внедрением электронной техники и автоматизации. Диаграмма распределения этих периодов в историческом времени показана на рис. 2.1.

Период конной тяги, начавшийся в последней четверти XVIII в., продолжался примерно до середины XIX в. Лошадь использовалась человеком еще в глубокой древности для верховой езды, конных боевых колесниц и других целей. Примерно во второй половине XVII в. было организовано регулярное движение конных повозок как средства междугородного транспорта. По мере роста городов возникла необходимость и во внутригородском пассажирском транспорте, который и появился примерно в последней четверти XVIII в. Пассажиропотоки в городах того времени были еще малы. Для перевозки пассажиров использовались кареты, затем появились 10—20-местные дилижансы, омнибусы, линейки. Дилижансы и омнибусы представляли собой конструктивно усиленные повозки больших размеров. В частности, омнибусы были двухэтажными, имели открытый второй этаж — «империал», проезд в котором стоил немного дешевле, чем внутри кузова. Линейка, или «волчок», показана на рис. 2.2. Она представляла собой как бы сдвоенную скамью, на которой размещались в два ряда 10—14 пассажиров.

В середине XIX в. (1853 г. — в Нью-Йорке, 1864 г. — в Петербурге, 1872 г. — в Москве и т. д.) появились первые конные железные дороги — конки. Появление конок — следствие первого в истории транспортного кризиса, явившегося результатом быстрого роста городов в связи с развитием капитализма. Если в начале XIX в. во всем мире не было ни

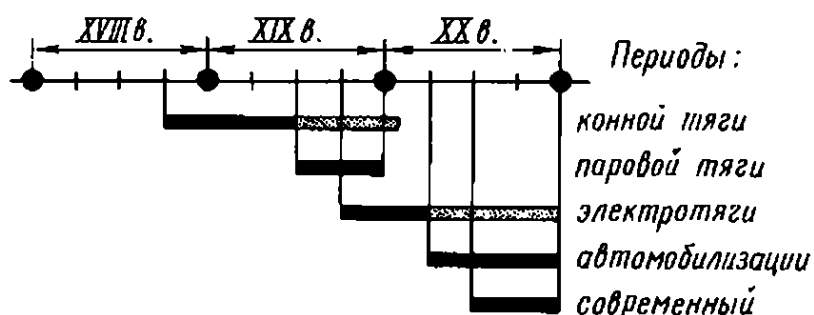


Рис. 2.1

Исторические этапы развития ГПТ

одного города с населением в 1 млн. человек, то уже в середине XIX в. насчитывалось более 2 млн. в Лондоне, более 1,5 млн. — в Париже. около 0,5 млн. населения — в Нью-Йорке, Петербурге, Вене, Берлине и других городах. Пассажиропотоки в этих городах были уже внушительными и обычный конный ГПТ с ними не справлялся.

Быстрое развитие конных железных дорог связано с преимуществами рельсового транспорта перед безрельсовым — более плавным ходом и примерно в три раза меньшим сопротивлением движению. Благодаря этому рельсовые колесные экипажи можно было делать примерно вдвое большей вместимости по сравнению с безрельсовыми. Конки вмещали около 40 пасс., обеспечивали скорость сообщения 8—10 км/ч, сравнительно высокую по тем временам комфортабельность проезда и регулярность движения. Длина вагонов конок составляла 4—8 м, ширина — 1,8—2 м. Крытые вагоны имели «империал» — плоскую крышу, приспособленную для перевозки пассажиров. Общий вид конки с «империалом» показан на рис. 2.3.

Однако появление конки позволило незначительно разрешить транспортную проблему крупных городов. Пассажиропоток, использующий конные экипажи, требовал больших площадей улиц, так как удельная площадь проезжей части, приходящаяся на одного пассажира конного экипажа, вследствие его небольшой пассажировместимости была сравнительно велика — примерно в 10 раз превышала удельную площадь улицы, приходящуюся на одного пассажира современного трамвайного вагона. В результате узкие улицы крупнейших городов второй половины XIX в. оказались перегруженными конным транспортом.

В связи с этим были предприняты попытки применения на городском транспорте паровой тяги, к тому времени уже известной на железнодорожном транспорте. В целях разгрузки перегруженных уличных транспортных магистралей первые городские железные дороги с паровой тягой, появившиеся в середине XIX в. в Англии, были проложены в Лондоне вне уличной сети в подземном уровне — в тоннелях. Они получили права обычных железных дорог и название Metropolitan Rail-Way, т. е. столичной железной дороги. Название «метрополитен» стало потом нарицательным для всех внеуличных городских железных дорог сначала с паровой, а затем и с электрической тягой. Вслед за Лондоном (1863) в последней четверти XIX в. появились метрополитены в Берлине (1872), в Нью-Йорке (1878) и других столичных городах. Линии метрополитена Берлина были проложены на насыпи, в Нью-Йорке — на эстакадах.

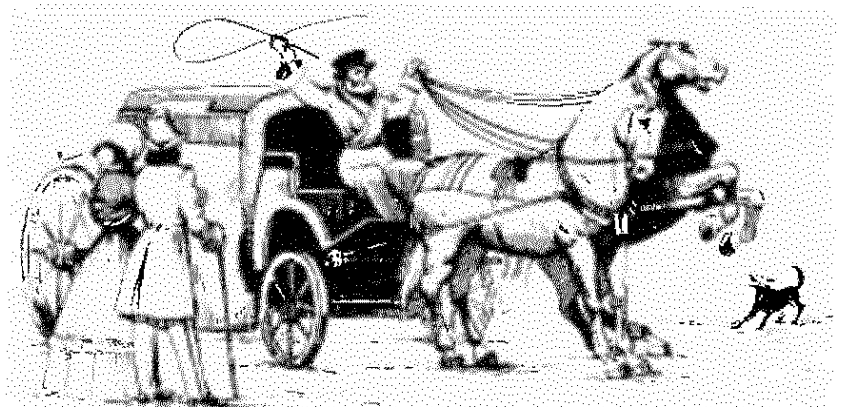


Рис. 2.2

Линейка

Почти одновременно с метрополитенами появились и первые уличные железные дороги с паровой тягой. Они были созданы в Лондоне изобретателем и предпринимателем О'Грам и получили название *Gram-Way* (дорог Трэма). Название «трамвай» стало потом нарицательным для всех уличных городских железных дорог — сначала с паровой, а затем и с электрической тягой. В Москве паровая узкоколейная железная дорога от Бутырской заставы до Тимирязевской академии (Петровско-Разумовское) была заменена электрическим трамваем только после Октябрьской революции. Общий вид одного из первых паровых трамваев — «паровичков» показан на рис. 2.4, который затем конструктивно совершенствовался. На рис. 2.5 показан паровой трамвай на улицах Петербурга. Он уже конструктивно близок к первым трамваям с электрической тягой.

Паровая тяга по сравнению с конной отличалась более высокой экономичностью и провозной способностью. Паровичок мог тянуть за собой несколько вагонов. И тем не менее появление паровых городских железных дорог объясняется только тем, что во второй половине XIX в. не знали еще других видов тяги, способных решить транспортную проблему больших городов. Паровички сильно загрязняли воздух, были пожароопасны и имели низкие динамические показатели (ускорение при пуске и скорость движения). Особенно неблагоприятные условия создавались при использовании их на линиях подземных метрополитенов вследствие трудностей вентиляции тоннелей. Поэтому после изобретения вращающихся электрических машин и методов передачи электрической энергии на расстояние были предприняты попытки использования их для целей тяги.

Период электрической тяги начался в конце XIX в. и получил наибольшее развитие в первой четверти XX в. На электрическую тягу начали переводить трамваи и метрополитены, появились первые троллейбусы и электропоезда. Один из первых трамвайных вагонов с питанием от контактного провода показан на рис. 2.6. Внешне он мало отличался от конки и имел всего 12 сидячих мест, приводился в движение одним тяговым электродвигателем (ТЭД) мощностью 4,5 л. с. (3,3 кВт) с ременной передачей вращающего момента на движущие колеса (колесную пару) и управлялся силовым контроллером, установленным на площадке. Токосъем с контактного провода производился специальной токосъем-

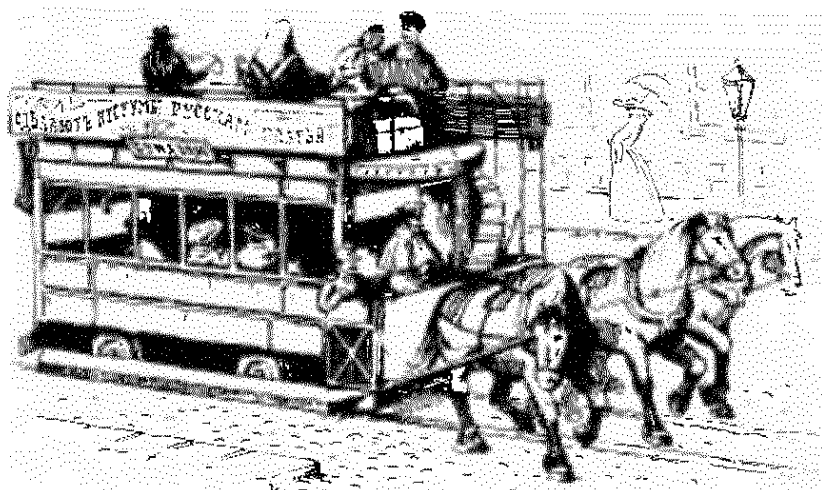


Рис. 2.3

Конка в Петрограде

ной кареткой, соединенной с вагоном гибким тросом. Позднее появились более совершенные токоприемники — сначала дуговой, а затем и пантографный. ТЭД были установлены на всех осях моторных вагонов, а ременная передача заменена более надежной зубчатой. Электроснабжение первых трамваев осуществлялось централизованно от собственных электрических станций. Затем они были переведены на питание от городских энергосистем через тяговые преобразовательные подстанции.

Первый в России электрический трамвай был пущен в 1892 г. в Киеве, затем в 1894 г. — в Казани, в 1896 г. — в Нижнем Новгороде, в 1897 г. — в Екатеринославе и Курске, в 1898 г. — в Орле и Севастополе, в 1899 г. — в Москве и других городах. Всего в дореволюционной России было 35 трамвайных предприятий; в настоящее время их более 110.

Электрическая тяга намного экономичней и гигиеничней паровой и позволяет создавать мощный подвижной состав большой вместимости с высокими динамическими показателями.

На рис. 2.7 показан внешний вид современного трамвайного вагона РВЗ-7 отечественного производства с тиристорно-импульсной системой управления.

Его технические данные (м): длина кузова по наружной обшивке — 15,09, ширина — 2,62, высота от головок рельсов до верхней точки обшивки крыши — 3,02, высота пола пассажирского салона от головок рельсов — 830 мм, нормальная вместимость — 126 пассажиров, максимальная — 219 пассажиров, суммарная часовая мощность ТЭД — $55 \times 4 = 220$ кВт, конструктивная скорость — 75 км/ч, ускорение при пуске с нормальной нагрузкой до выхода на характеристику полного поля ТЭД — $1,43 \text{ м/с}^2$, замедление при торможении с полной нагрузкой со скорости 30 км/ч — $1,3 \text{ м/с}^2$, экстренное — 3 м/с^2 , масса без пассажиров — 18,87 т.

Появление электрической тяги коренным образом расширило и перспективы развития метрополитенов. Перевод их с паровой тяги на электрическую значительно улучшил санитарное состояние станций и тоннелей, позволил повысить скорость движения поездов и увеличить глубину заложения тоннелей, так как электрическая тяга исключает необходимость усиленной вентиляции. В свою очередь, глубокое заложение тоннелей обеспечило возможность наиболее удобной трассировки линий метрополитенов независимо от уличной сети. Первый отечественный метрополитен был открыт в Москве в 1935 г. По своим техническим и эстетическим показателям он по праву считается лучшим в мире. В настоящее время в СССР действуют уже семь метрополитенов: в Москве, Ленинграде, Баку, Тбилиси, Киеве, Харькове и Ташкенте.

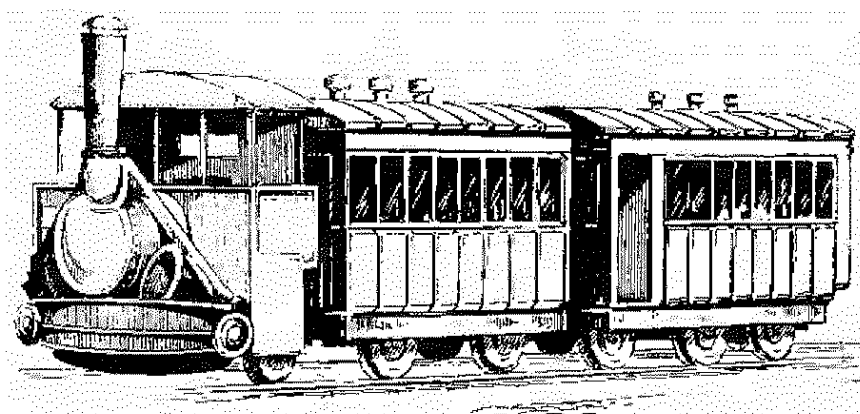


Рис. 2.4

Первый паровой трамвай

На рис. 2.8 показан общий вид вагона типа Е отечественных метрополитенов.

Его технические данные (м): длины кузова по осям автосцепок — 18,77, ширина кузова — 2,7, высота вагона — 3,695, мест для сидения — 44, максимальная вместимость — 270 пассажиров, суммарная мощность ТЭД (4 ТЭД по одному на каждую ось) — $4 \times 64 = 256$ кВт, конструктивная скорость — 90 км/ч, ускорение при пуске — $1,3 \text{ м/с}^2$, замедление при торможении — $1,3\text{--}1,7 \text{ м/с}^2$, собственная масса без пассажиров — 30,6 т.

В 1882 г. в Германии на пригородной линии Берлин—Шпандау появился первый опытный образец безрельсового экипажа с электрическим двигателем, получающим питание от контактных проводов — прообраз троллейбуса. Долгое время троллейбус не имел широкого распространения, что было связано главным образом с недостатками токосъема через токосъемные каретки и сменивший его позднее роликовый штанговый токоприемник. Развитие троллейбусов началось в Англии и Чехословакии после изобретения троллейбусных токосъемных штанг с роликовым, а позднее со скользящим контактом, обеспечивших более высокую надежность токосъема при достаточно высоких скоростях движения. Как и другие виды электрического транспорта, он не загрязняет атмосферы городов, имеет высокие динамические показатели, отличается простотой тягового электрооборудования, а централизованное электроснабжение позволило создавать троллейбусы большой вместимости. Кроме того, троллейбус отличается значительно меньшими капиталовложениями и большей маневренностью по сравнению с трамваем и метрополитеном, меньше загромождает улицы, больше отвечает архитектурно-градостроительным требованиям. Все эти преимущества дали возможность использовать троллейбусы как одно из основных средств ГПТ, особенно в городских центрах, где к ГПТ предъявляют особенно высокие архитектурно-градостроительные требования.

В царской России троллейбусов не было. Первый отечественный троллейбус появился на улицах Москвы в 1933 г. В настоящее время в СССР троллейбусный транспорт имеют около 160 городов. Количество их будет непрерывно увеличиваться. Серийно выпускающейся моделью отечественных троллейбусов является троллейбус ЗиУ-9 (рис. 2.9).

Его технические данные (м): габаритная длина — 11,82, габаритная ширина кузова — 2,5, высота с опущенными токоприемниками — 3,347, мест для сидения — 31, максимальная вместимость — 126 пассажиров, мощность ТЭД — 110 кВт, максимальная скорость движения — 55 км/ч, ускорение при пуске — $1,3 \text{ м/с}^2$, замедление при торможении — $0,9\text{--}5 \text{ м/с}^2$, собственная масса без пассажиров — 10 т.

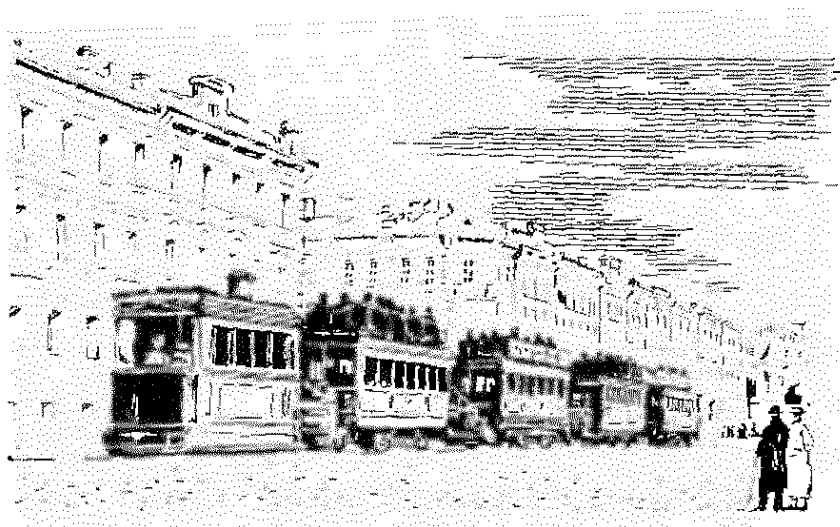


Рис. 2.5

Паровой трамвай на улицах Петербурга

Преимущества электрической тяги перед всеми другими видами тяги остаются и в настоящее время, что обеспечивает ей большие перспективы дальнейшего развития и в будущем.

Период развития автомобильного транспорта с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) или, как его называют, период автомобилизации, начался в 20-х годах XX столетия, но ее темпы за исключением США, были в это время еще невысокими. Массовое развитие автомобилизации получила в 50-х годах после второй мировой войны. Она продолжается и в настоящее время. Мировой автомобильный парк непрерывно растет и уже превышает 200 млн. автомобилей. По имеющимся прогнозам к 1980 г. он увеличится до 380 млн., а в 2000 г. превысит 500 млн. ед.

Автомобиль как средство индивидуального транспорта имеет по сравнению с другими видами ГПТ ряд преимуществ: он обеспечивает возможность беспересадочной поездки с минимальными затратами времени, отличается высоким уровнем транспортного комфорта. Современные автомобили имеют высокие динамические показатели — ускорения при пуске, замедления при торможении, максимальную скорость движения до 200 км/ч. Благодаря этим преимуществам автомобиль завоевал и продолжает завоевывать современные города. Уровень автомобилизации измеряют количеством автомобилей, приходящихся на 1000 жителей. В США он превысил 400, во Франции, Швеции, ФРГ составляет более 200 (в крупных городах ниже, чем по стране в целом). Уровень автомобилизации в нашей стране по сравнению с этими цифрами составляет примерно 15 автомобилей на 1000 жителей, но в последние годы очень быстро растет и к 2000 г., вероятно, достигнет примерно 150—200.

Ожидаемый уровень автомобилизации США составит в перспективе более 700 автомобилей на 1000 жителей. Пропускная способность городских магистралей большинства столичных и других крупных городов Запада вследствие автомобильного бума уже исчерпана и они находятся в состоянии хронического транспортного паралича, который привел к резкому ухудшению общего транспортного обслуживания населения. Сначала автомобиль появился на городских улицах, которые затем превратились в автострады. Но потокам автомобилей стало тесно и здесь, тогда появились суперавтострады. Автодороги строят в несколь-

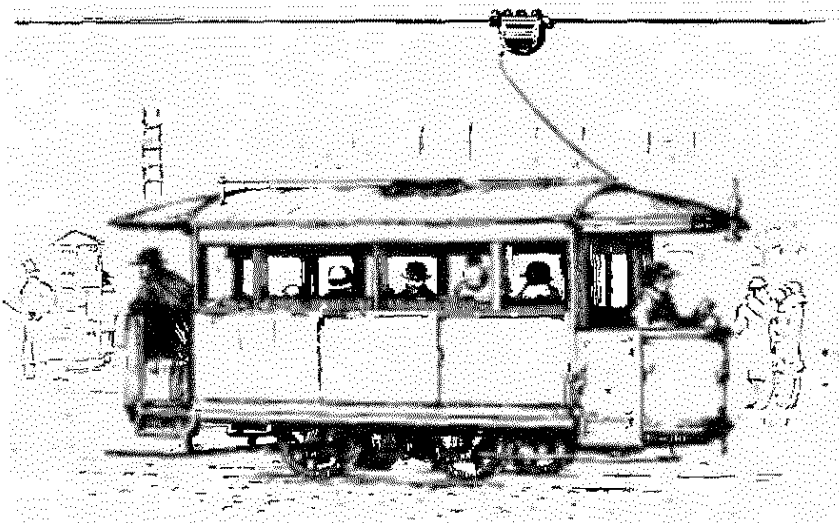


Рис. 2.6

Первый трамвайный вагон с питанием от контактного провода

ко ярусов, их площадь, например, в Лос-Анжелесе составляет $\frac{2}{3}$ общей площади городской застройки. Скорость автомобильного потока в часы пик нередко падает до 4—5 км/ч (скорость пешехода). В Бостоне, например, организовали соревнование: 25 велосипедистов и 25 автомобилей стартовали на 10 миль (16 км) по обычному весьма забитому транспортом городскому маршруту. Со счетом 23:2 победили велосипедисты! Велосипед при всей своей простоте и дешевизне в условиях современного крупного города не только становится конкурентоспособным с легковым автомобилем по обеспечиваемой скорости сообщения, но и избавляет людей, ведущих малоподвижный образ жизни, от гипокинеза — болезни, связанной с недостатком подвижности. Отсюда его широкое распространение и противопоставление автомобилю. В Японии и США велосипедом пользуется каждый третий житель, в Голландии — каждый второй.

В связи с нарастающей автомобилизацией за рубежом растет число дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Автомобиль стал одним из самых опасных средств транспорта, а автомобильные катастрофы превратились в подлинное бедствие человечества. Ежегодно в ДТП гибнут сотни тысяч людей, десятки миллионов становятся инвалидами, государства терпят материальный ущерб, исчисляемый миллиардами долларов. На автодорогах США, например, ежегодно в ДТП погибает более 50 тыс. человек, более 1,5 млн. человек получают увечья различной степени тяжести, а материальные убытки, связанные с ДТП, превышают 10 млрд. долл. Темпы ежегодного роста количества ДТП в несколько раз превышают темпы прироста населения.

В результате скопления огромных масс автомобилей крупные города задыхаются от токсических выделений автотранспорта. В безветренную погоду с туманом над ними нависают облака смога, создающие реальную угрозу жизни городского населения. Облако смога над Нью-Йорком видно с самолета на расстоянии 240 км. В декабре 1952 г. смог погубил в Лондоне за несколько дней более 4 тыс. человек, в 1963 г. в Нью-Йорке — около 400 человек. Подобные же явления отмечались

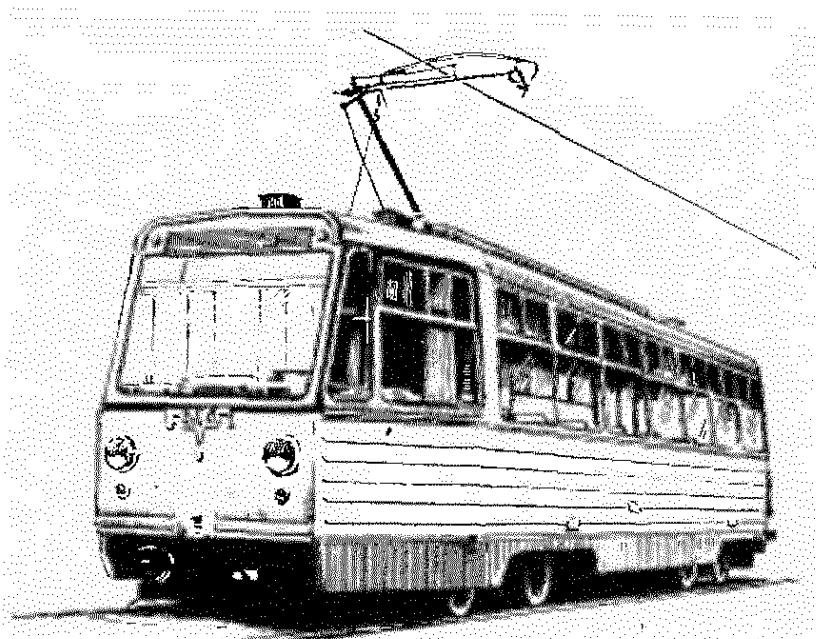


Рис. 2.7

Общий вид трамвайного вагона
РВЗ-7

и в других крупных городах — Сан-Франциско, Лос-Анжелесе, Токио. Создаются специальные вертолетные службы оповещения населения о приближении смога. Полицейские регулируют уличное движение в кислородных масках. В Токио на центральных магистралях наподобие заправочных станций установлены автоматы с кислородными баллонами. Во время смога пешеходы, переходя от автомата к автомату, просовывают в них 25-иенные монетки и торопливо дышат кислородом. Реальная картина становится созвучной с фантазией, описанной фантастом Беляевым в рассказе «Продавец воздуха».

В результате нерегулируемой автомобилизации ГМПТ промышленно развитых капиталистических стран вступил в период хронического кризиса: начиная с 40-х годов он непрерывно теряет пассажиров и постепенно свертывается. В настоящее время легковыми автомобилями выполняется около 90% городских пассажироперевозок в США и около 70% в Англии и Франции. В небольших городах США МПТ практически отсутствует, там все 100% пассажироперевозок выполняются легковыми автомобилями.

Таким образом, современный период развития ГПТ на Западе — это период кризиса МПТ, развернувшегося на фоне продолжающейся автомобилизации. Учитывая неослабевающие темпы автомобилизации, транспортники и градостроители Запада полагают, что проблемы ГПТ будут решаться в городах по пути использования легковых автомобилей во всех случаях, когда это возможно, т. е. в мелких и средних городах по населенности. В крупных городах легковые автомобили не могут освоить пассажиропотоки даже на ультрасовременных супер-автострадах. В этих условиях возвращение к развитию МПТ считают единственным выходом из создавшегося транспортного тупика.

§ 2.2. Современный кризис ГМПТ за рубежом и пути его преодоления

Как уже отмечалось выше, современный кризис ГМПТ в развитых капиталистических странах вызван неконтролируемой автомобилизацией. Предел развитию автомобилизации ставит низкая провозная способность легкового автомобиля и ограниченная пропускная способность городских транспортных магистралей. Объективно существует предел провозной способности, определяемый насыщением транспорт-



Рис. 2.8

Вагон типа Е отечественных метрополитенов

ных магистралей автомобилями, превышение которого вызывает резкое падение скорости всего транспортного потока, образование заторов и пробок.

Любое транспортное средство занимает на транспортной магистрали определенную площадь — тем большую, чем выше его скорость. В расчете на одного пассажира автобуса обычной вместимости порядка 86 человек при 100%-ном наполнении она составляет при скорости движения 50 км/ч примерно $3,5 \text{ м}^2$, при 40%-ном — 9 м^2 . На одного пассажира легкового автомобиля вместимостью 4 человека при 100%-ном и 40%-ном наполнении в тех же условиях удельная площадь транспортной магистрали составляет соответственно 60 и 170 м^2 , т. е. почти в 20 раз больше. Еще более разительна разница в удельных площадях уличных проездов, требующихся на одного пассажира легкового автомобиля и мощных средств МПТ, в частности скоростного трамвая. При скорости 50 км/ч на одного пассажира скоростного трамвая вместимостью 270 человек при 100%-ном наполнении приходится всего $1,6 \text{ м}^2$ площади транспортного проезда и при 40%-ном — около 4 м^2 , т. е. более чем в 40 раз меньше, чем на одного пассажира легкового автомобиля. Это означает, что замена легкового автомобиля на скоростной трамвай позволяет в сравнимых условиях увеличить провозную способность в 40 раз.

При насыщении транспортных магистралей автомобилями имеется один реальный путь освоения растущих пассажиропотоков (не считая регулировочных мероприятий) — строительство новых дорогостоящих многоярусных автомагистралей.

Таким образом, задачу освоения растущих пассажиропотоков можно решить автомобилизацией лишь до определенного предела. Малые и средние города с небольшими пассажиропотоками могут решать задачи пассажирского обслуживания автомобилизацией, а крупные города должны сочетать ее с развитием ГМПТ.

Современные трудности сочетания развития ГМПТ с автомобилизацией на Западе, например, определяются рядом обстоятельств:

1) современный автомобиль предоставляет пассажиру несравненно более высокий уровень комфорта, чем средства ГМПТ;

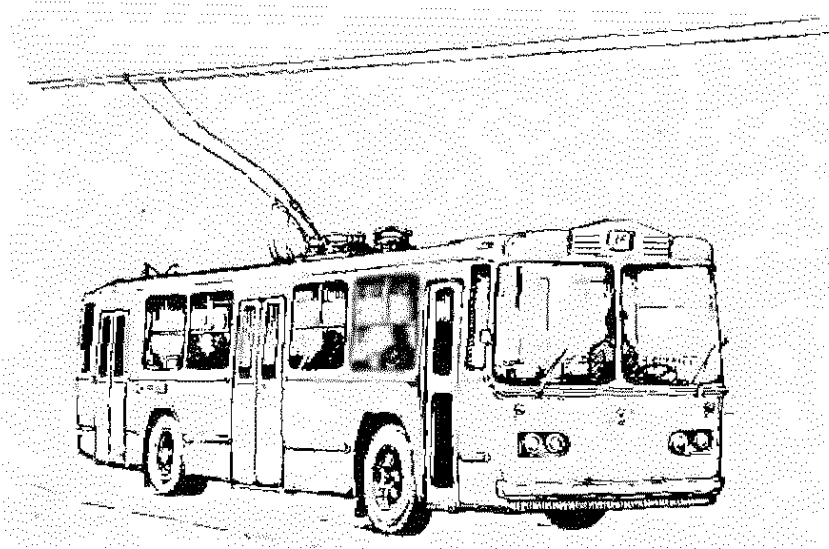


Рис. 2.9

Троллейбус ЗиУ-9

2) автомобильный бум и постоянная реклама автомобиля создали среди населения устойчивый «психологический барьер недоверия» к МПТ.

3) современная система организации движения ГМПТ на маршрутах с частыми остановками не обеспечивает использования его скоростных возможностей, связана с высокой транспортной утомляемостью и другими неудобствами для пассажиров (большими затратами времени на пешеходный подход к остановкам МПТ, на ожидание транспорта и пересадки).

Задача сочетания развития ГМПТ с автомобилизацией в крупных городах заключается поэтому в создании новых средств МПТ, конкурентоспособных с автотранспортом, т. е. обладающих основными преимуществами автотранспорта и перекрывающих их. Создание таких средств ГМПТ, преимущества ГМПТ перед легковыми автомобилями по комфортабельности и затратам транспортного времени позволят решить и проблему «недоверия» пассажиров к ГМПТ.

Сущность современного этапа развития ГМПТ состоит поэтому в возрождении его на более высоком уровне современной техники. Основными путями развития ГМПТ в настоящее время являются:

1. Разработка новых методов организации движения ГМПТ на базе развития теории городских пассажирских перевозок и внедрение автоматизированных систем управления движением (АСУД). Известно, что при прочих равных условиях именно организация движения является главным рычагом повышения эффективности ГМПТ — это подтверждает как отечественная, так и зарубежная практика. Именно неудовлетворительной системой организации движения определяются низкие эксплуатационные качества современного ГМПТ, основным показателем которых является скорость сообщения*. Конструктивная скорость современных видов наземного ГМПТ составляет 65—90 км/ч, причем она легко может быть повышена до любого практически необходимого уровня. Этого просто не требуется, так как при обычных условиях движения скорость сообщения наземных видов ГМПТ составляет не более 18—20 км/ч, а иногда не превышает 14—17 км/ч.

2. Совершенствование традиционных видов ГМПТ — трамвая, троллейбуса, автобуса и метрополитена, включая развитие конструкций подвижного состава на основе новых, более высоких требований, совершенствование путевых устройств, систем электроснабжения, а также разработка новых, более результативных принципов организации движения. Примерами такого совершенствования традиционных видов ГМПТ являются разработки систем скоростных трамвая и автобуса, подвижного состава метрополитена на пневматических колесах, автобусные системы с нефиксированными маршрутами и др.

3. Разработка новых видов ГМПТ, рассчитанных на новые, наиболее эффективные методы организации движения, обеспечивающие затраты транспортного времени в пассажиропоездках того же порядка, что и

* Точнее, эксплуатационная скорость. Однако практически скорость сообщения отличается от эксплуатационной не более чем на 5—7%.

легковой автомобиль, и близкий к нему уровень транспортного комфорта. Это направление является наиболее перспективным, но и связано с наибольшими затратами. За рубежом работа по созданию новых транспортных систем ГМПТ ведется весьма интенсивно: в проектах их предложено уже более 400, а некоторые находятся в стадии эксплуатационных испытаний.

§ 2.3. Перспективы развития ГМПТ в СССР

Транспортные прогнозы в нашей стране рассчитаны на устойчивое плановое развитие ГМПТ. В СССР создана мощная база автомобилизации и ожидается ее значительный рост (к 1990 г. до 50—100 и к 2000 г. примерно до 150—200 автомобилей на 1000 жителей), но легковой автомобиль в связи с более суровыми климатическими условиями используется и будет использоваться в основном в теплые периоды года во время отпусков, для загородных поездок, в туристических и других целях. Во внутригородских сообщениях он будет играть второстепенную роль. Такой прогноз связан с тем, что более мягкий климат Западной Европы и США позволяет эксплуатировать легковые автомобили без затруднений круглый год, в то время как в нашей стране (рис. 2.10) примерно 85% автомобилей используют только семь месяцев в году (с апреля по ноябрь), 100% автомобилей — примерно с мая по сентябрь (5 месяцев). Средний коэффициент использования автомобильного парка составляет приблизительно 62%.

Длительный период низких температур и ухудшение условий безопасности движения автомобилей в зимнее время вследствие обледенения дорог являются теми объективными факторами, благодаря которым автомобилизация в СССР не окажет заметного влияния на потребность в транспортных средствах общего пользования. Сдерживающее влияние на использование индивидуального автотранспорта в городах будет оказывать также предусмотренный Программой КПСС в будущем переход на бесплатное пользование ГМПТ. Увеличение количества автомобилей индивидуального пользования может оказать ощутимое влияние на развитие ГПТ общего пользования только в городах южной зоны страны.

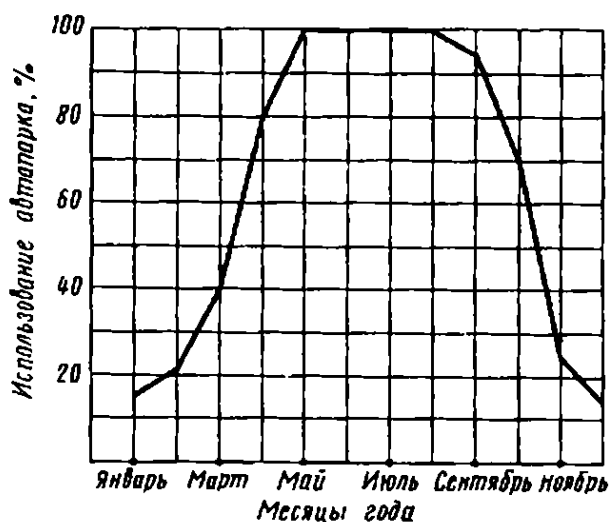


Рис. 2.10

Использование индивидуальных автомобилей по месяцам года в СССР

Таким образом, перспективы развития ГМПТ в нашей стране будут определяться в основном перспективами роста пассажироперевозок, связанного с дальнейшей урбанизацией, территориальным ростом городов и изменением социальных условий жизни городского населения. В настоящее время объем городских пассажироперевозок в СССР составляет примерно 50 млрд. пасс/год и возрастает на 10 млрд. пасс/год за каждое пятилетие. По имеющимся прогнозам в 1980 г. он будет составлять примерно 60 млрд. пасс/год, в 1985 г. — 70 млрд., в 1990 г. — 80 млрд. пасс/год. Такие высокие темпы роста пассажироперевозок требуют непрерывного развития городских транспортных сетей, вызывают необходимость роста производства подвижного состава и других транспортных устройств.

Основным направлением развития отечественного ГМПТ будет совершенствование обычных видов МПТ — автобуса, троллейбуса, трамвая и метрополитена. Рост пассажироперевозок будет сопровождаться ростом протяженности транспортных сетей и увеличением количества подвижного состава, повышением динамических показателей, комфортабельности, доли скоростного трамвая и автобуса, ростом вместимости подвижного состава. Метрополитенами будут осваиваться мощные устойчивые пассажиропотоки, превышающие 25—30 тыс. пасс/ч в одном направлении движения в крупнейших городах с населением более 1 млн. человек. Таких городов в нашей стране к 1980 г. будет 17, а к 1990 г. — 29. Обычный и скоростной трамвай будут главным видом ГМПТ в крупнейших и крупных городах с населением 250 тыс. человек и более. По экономическим соображениям обычный трамвай целесообразен на направлениях с устойчивыми пассажиропотоками до 12—15 тыс. пасс/ч, скоростной — до 25 тыс. пасс/ч (в одном направлении движения). Развитие скоростного трамвая с обособленным полотном — главное направление совершенствования обычного трамвая. Троллейбус, как и трамвай, будет использоваться в основном в городах с населением свыше 250 тыс. человек на направлениях с устойчивыми пассажиропотоками примерно 6—10 тыс. пасс/ч в одном направлении движения. В небольших городах пассажироперевозки будут осуществляться автобусами, а в крупных они будут использоваться для пассажиропотоков до 6—8 тыс. пасс/ч в одном направлении движения.

Таким образом, в крупнейших и крупных городах с интенсивным движением предпочтение будет отдаваться электрической тяге — видам городского электрического транспорта (ГЭТ), отличающимся наибольшей провозной способностью и гигиеничностью, наименьшим шумообразованием.

По населенности различают шесть групп городов: к I относят города с населением свыше 1 млн. человек, ко II — от 500 тыс. до 1 млн., к III — от 250 до 500 тыс., к IV — от 100 до 250 тыс., к V — от 50 до 100 тыс. и к VI — менее 50 тыс. жителей. По терминологии СНиП II—60—75 п. 1.3 города I и II групп населенности называют крупнейшими, III — крупными, IV — большими, V — средними и VI — малыми.

В городах I группы в 1980 г. метрополитеном будет осваиваться примерно 10% пассажироперевозок, трамваем — 40, троллейбусом — 25 и автобусом — 25%, в городах II группы трамваем — примерно 42%.

троллейбусом — 25 и автобусом — 35%; в городах III группы — трамваем 25%, троллейбусом — 25, автобусом — 50%; в городах IV группы — 5% трамваем, троллейбусом — 15 и автобусом — около 80%. В городах V группы населенности автобусом — 94%, трамваем — 1 и троллейбусом — 5%; в городах VI группы все 100% пассажироперевозок будут осваиваться автобусом. Такое разграничение сфер применения современных видов ГМПТ определяется, с одной стороны, их технико-экономическими и эксплуатационными характеристиками — провозной способностью, обеспечиваемой скоростью сообщения, себестоимостью пассажироперевозок и другими, а с другой стороны, — реальной величиной пассажиропотоков, планировочными особенностями городов и их населенностью.

Перспективные направления совершенствования МПТ в СССР разрабатываются в соответствии с задачами максимального повышения народнохозяйственной эффективности ГМПТ — полного удовлетворения потребности городского населения в пассажироперевозках, максимального сокращения затрат транспортного времени населения в пассажиропоездках и снижения транспортной утомляемости за счет повышения комфортабельности пассажироперевозок, снижения до санитарных норм транспортного шума и загрязнения воздушного бассейна транспортными предприятиями. В десятой и одиннадцатой пятилетках будут осуществлены крупные проекты по внедрению АСУ ГПТ и ее элементов — АСУ движения (АСУД), АСУ электроснабжения, АСУ депо и др. Эффектом внедрения АСУД явится повышение скорости сообщения, регулярности движения, снижение неравномерности наполнения подвижного состава пассажирами, снижение транспортной утомляемости, повышение использования подвижного состава.

Г л а в а 3 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ГПТ И ИЗМЕРИТЕЛИ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

§ 3.1. Количественные характеристики дорожного движения

Упорядоченное дорожно-транспортной сетью движение транспортных средств называют *транспортным потоком*, движение пассажиров и грузов — соответственно *пассажиропотоком* и *грузопотоком*, движение пешеходов — *пешеходным потоком*. Процесс обмена пассажирами и грузами между точками зарождения и погашения корреспонденций грузов и пассажиров, осуществляемый по дорожно-транспортной сети, называют *грузо- и пассажироперевозками*. Разделы транспортной науки, изучающие закономерности грузо- и пассажироперевозок в городских дорожно-транспортных сетях, называют теорией грузо- и пассажироперевозок.

Процессы пассажиро- и грузоперевозок являются одной из сторон жизнедеятельности человеческого общества, ее составной частью. Поэтому законы их формирования непосредственно отражают и определяются коренными закономерностями и уровнем развития производ-

ственных и прочих отношений между людьми, их социально-экономическими отношениями и связями, уровнем развития техники и транспортной техники в частности, психофизиологическими (биологическими) характеристиками человека как участника движения. Такая сложность явлений, лежащих в основе процессов, определяющих формирование дорожного движения, чрезвычайно затрудняет его осмысливание, заставляет отказаться от рассмотрения его коренных мотивов и изучать как некое физическое явление.

Для количественной характеристики различных сторон процессов дорожного движения транспортных средств, происходящих на дорожно-транспортных сетях, и соответственно пассажирских, грузовых и пешеходных потоков, вводят комплекс количественных и качественных показателей. В зависимости от того, с какой стороны рассматривается дорожное движение — как сам физический факт движения транспортных средств и перемещения людей или грузов, как социальное явление или как один из режимов психофизической деятельности участников дорожного движения, этот комплекс непрерывно расширяется по мере углубления теории рассматриваемых вопросов. Основными количественными характеристиками дорожного движения как физического явления служат интенсивность движения J , скорость движения v , линейная n_l и поверхностная n_f плотности движения, характеристики условий и безопасности дорожного движения.

Основной характеристикой движения, оценивающей его целевую функцию, является скорость. Различают несколько понятий скорости движения: максимальную разрешенную скорость движения на дорогах, максимальную реализуемую скорость, конструктивную, скорость сообщения и др. Все они определяются в § 3.2.

Городские дороги, используемые для движения транспортных средств, имеют в своем составе (рис. 3.1) тротуары 1 для движения пешеходов*, проезжую часть 3 для автотранспорта, обособленное полотно 4 для трамвая и разделительные полосы 2 в виде дорожной

* В некоторых случаях в городах США и других стран с высокой степенью автомобилизации имеются улицы без тротуаров, предназначенные исключительно для движения транспорта.

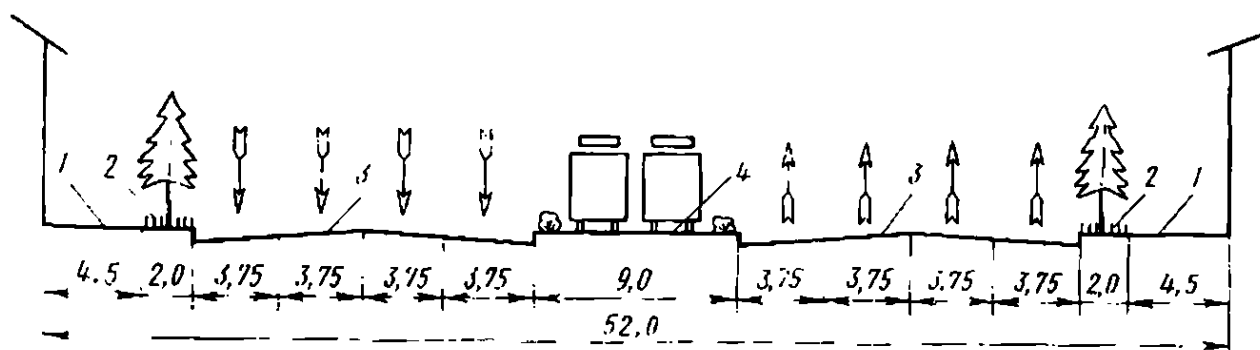


Рис. 3.1

Поперечный профиль магистральной улицы (пример)

разметки, бордюров или зеленых насаждений. Проезжая часть состоит из отдельных полос движения шириной 3,5—3,75 м, отделенных друг от друга разметкой или не имеющих разметки. На рис. 3.1 показана проезжая часть на четыре полосы в каждом направлении движения.

Интенсивностью движения (поездов/ч, поездов/сут., поездов/год) называют количество транспортных средств $N_{\text{дв}}$, проходящих через поперечное сечение дороги или полосы движения в единицу времени t :

$$J = N_{\text{дв}}/t. \quad (3.1)$$

Интенсивность движения, приходящуюся на полосу, называют *удельной интенсивностью движения*. Промежуток времени (ч, сутки, год), за который определяется интенсивность движения, зависит от целей ее исследования. Интенсивность движения характеризуется весьма большими колебаниями во времени, определяемыми биологическим циклом и социальной организацией жизнедеятельности людей. Поэтому в суточном периоде интенсивность движения на улицах и дорогах городов минимальна в ночное время и достигает максимумов в часы пик — максимумов отправления людей от мест проживания к местам работы и от мест работы к местам проживания после окончания работы. Аналогичные, но менее ярко выраженные колебания интенсивности движения наблюдаются по месяцам года. Еще меньше подвержена колебаниям интенсивность движения по годам. Здесь ее изменения определяются в основном коренными закономерностями изменения социальных условий жизни, развитием промышленных и культурно-бытовых объектов и территориальным ростом городов. В транспортных расчетах наиболее часто интенсивность движения характеризуют часовым значением в час наибольшей нагрузки транспортной сети (максимальный час пик), так как в эти часы возникают наиболее сложные задачи организации движения.

Определенные закономерности изменения интенсивности движения связаны с геометрическими свойствами городского пространства: максимальная интенсивность движения наблюдается в центральных зонах городов, меньшая — в срединных и минимальная — в периферийных. Они отражают неравномерность размещения в плане города центров зарождения и поглощения грузо- и пассажироперевозок, а также коренные геометрические свойства городского пространства, определяющие сравнительную транспортную перегрузку городских центров и снижение ее по мере удаления к периферии. Распределение интенсивностей движения по транспортной сети изображают картограммой транспортных потоков (рис. 3.2), которая характеризует интенсивность движения в сечениях транспортной сети в тот или другой расчетный период времени — час пик или за определенный временной интервал часа пик, в среднем за сутки, год и т. д. Практически важно иметь данные о максимальной интенсивности движения в сечениях транспортной сети, так как она определяет условия и возможности организации дорожного движения, необходимо также учитывать изменения ее во времени в суточном и годовом цикле, так как они определяют интенсивность использования средств транспорта и дорожно-транспортных сооружений и, следовательно, экономические показатели дорожного движения, его

экономическую эффективность. Неравномерность движения транспортных средств во времени и городском пространстве характеризуют коэффициентами временной (внутричасовой, часовой, суточной, месячной, годовой) и пространственной (по зонам города, районам, магистралям и направлениям движения) неравномерности транспортных потоков, которые определяют отношением интенсивности движения в рассматриваемой временной интервал к средней за расчетный период, или интенсивности движения в том или другом районе или направлении движения к соответствующей средней.

Величина, обратная интенсивности движения на полосе движения с запрещенным обгоном транспортных средств, определяет временной интервал t_n между поездами. Если интенсивность движения определяется за часовой промежуток времени, то временной интервал (с)

$$t_n = 3600/J, \quad (3.2)$$

где 3600 — количество секунд в часе.

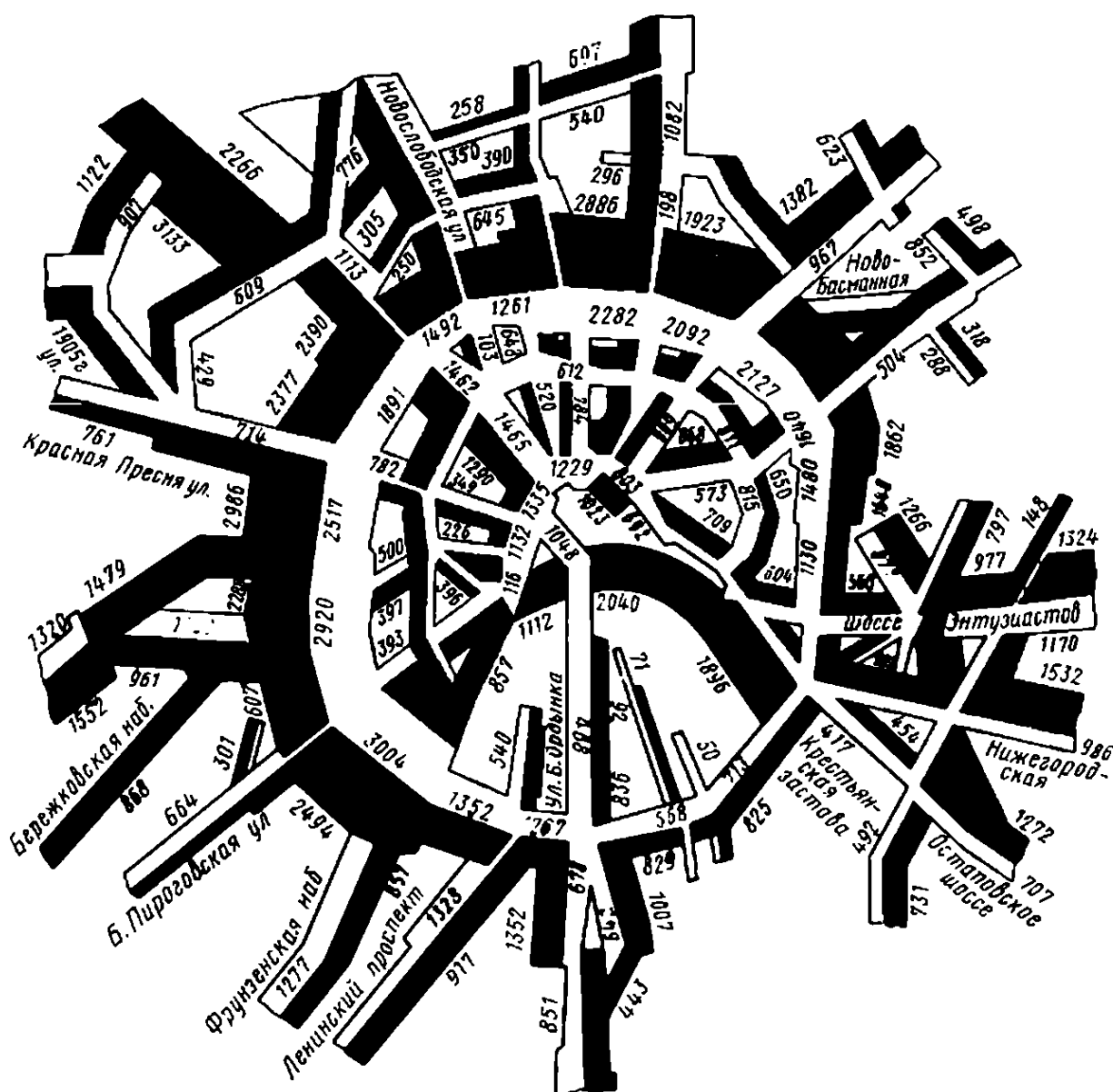


Рис. 3.2

Картограмма транспортных потоков большого города

Путь, проходимый транспортным средством за временной интервал t_n , называют *динамическим габаритом* или *путевым интервалом* (м):

$$l_n = vt_n = 3600 v/J, \quad (3.3)$$

где v — скорость транспортного потока (движения транспортных средств), м/с.

Динамический габарит l_n определяют как минимальное расстояние между поездами 1 и 2 (рис. 3.3, а), при котором водитель второго поезда (ведомого) способен затормозить поезд на безопасном расстоянии от первого (ведущий или лидер) при его внезапной остановке. Он складывается из отрезка пути l_p , проходимого поездом за «время реакции водителя» — отрезок времени, в течение которого водитель способен оценить транспортную ситуацию, т. е. осознать, что поезд-лидер 1 остановился, и включить торможение; тормозного пути l_r ; минимально необходимого зазора безопасности l_b и длины поезда l_n :

$$l_n = l_p + l_r + l_b + l_n. \quad (3.4)$$

При скорости движения v

$$l_p = vt_p; \quad l_r = v^2/(2a_T), \quad (3.5)$$

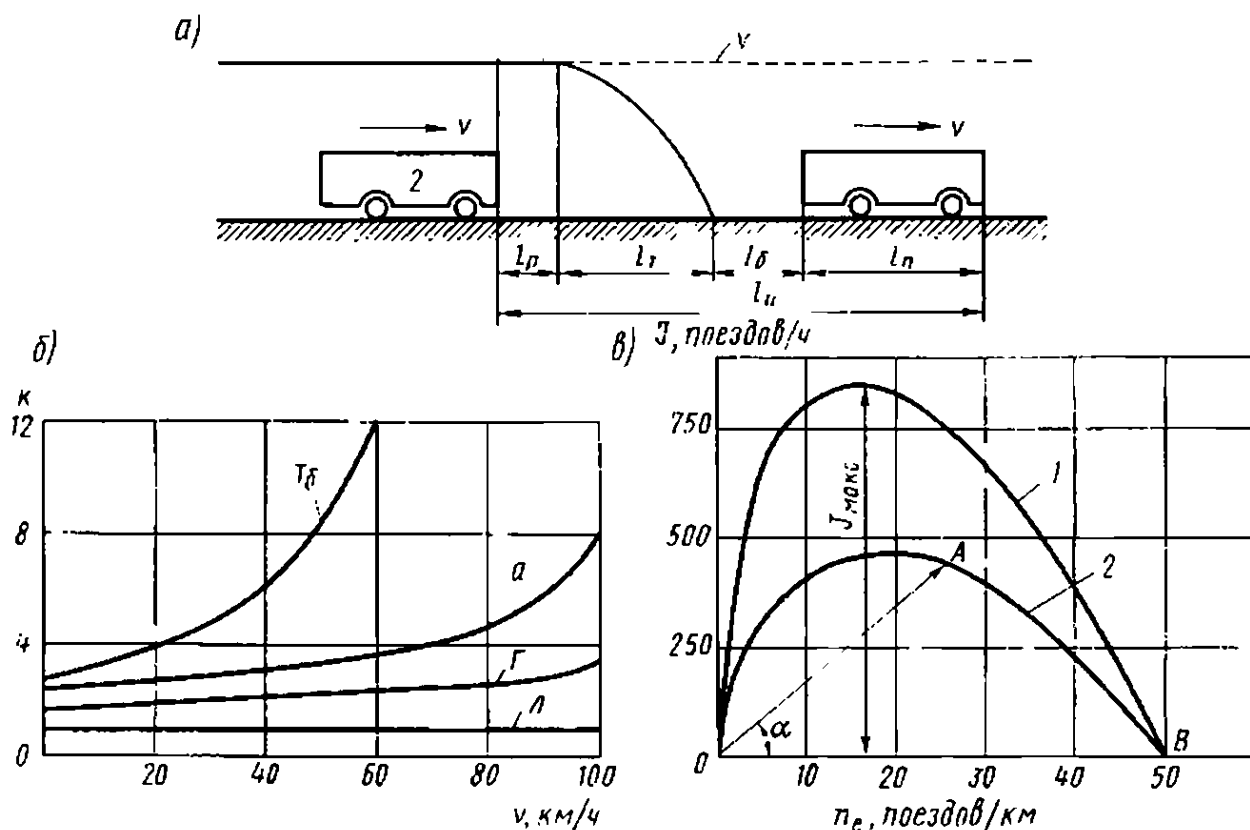


Рис. 3.3

Динамическая модель транспортного потока:

а — динамический габарит l_n подвижного состава; б — коэффициенты приведения транспортных средств (λ — легковые автомобили, γ — грузовые автомобили, α — автобусы, T_b — троллейбусы); в — основные диаграммы однородного транспортного потока

где t_p — время реакции водителя (в расчетах принимают обычно 1,5 с); a_T — среднее тормозное замедление при экстренном торможении.

Зазор безопасности l_6 обычно принимают равным длине поезда l_n . В соответствии с этой гипотезой динамический габарит

$$l_n = l_p + l_T + l_6 + l_n = vt_p + v^2/(2a_T) + 2l_n. \quad (3.6)$$

Следовательно, l_n представляет собой квадратичную функцию скорости транспортного потока: с ростом скорости движения динамический габарит подвижного состава быстро растет. Соответственно временной интервал между поездами в потоке и интенсивность движения будут:

$$t_n = l_n/v = t_p + v/(2a_T) + 2l_n/v; \quad (3.7)$$

$$J = 3600/t_n = 3600/[t_p + v/(2a_T) + 2l_n/v] \quad (3.8)$$

или

$$J = 3600v/l_n = 3600v/[vt_p + v^2/(2a_T) + 2l_n]. \quad (3.9)$$

Схему транспортного потока, изображенную на рис. 3.3, а, и ее математическое описание (3.4) — (3.9) называют *динамической моделью транспортного потока*.

Большое влияние на интенсивность движения J , временной интервал t_n и динамический габарит l_n оказывает состав транспортного потока, так как разные транспортные средства (легковые и грузовые автомобили, автобусы, троллейбусы) имеют разные размеры и динамические характеристики (ускорения при пуске, замедление при торможении, установившуюся скорость движения и др.). При разнородном потоке тихоходные и маломаневренные транспортные средства лимитируют скорость всего потока, громоздкие машины ухудшают сзади идущим обзорность дороги, что заставляет последние увеличивать разрыв между ними.

Для учета разнородности транспортного потока используют метод его приведения к однородному коэффициентами приведения. Обычно основную массу дорожного движения составляют легковые автомобили. Поэтому транспортный поток приводят к условному легковому автомобилю сравнением динамических габаритов различных транспортных средств с динамическим габаритом легкового автомобиля. Поскольку динамический габарит l_n транспортных средств зависит от их скорости, в функции скорости меняются и их коэффициенты приведения (рис. 3.3, б):

$$k_l = l_{n,l}/l_{n,l} = t_{n,l}/t_{n,l} = 1; \quad k_r = l_{n,r}/l_{n,l} = t_{n,r}/t_{n,l}; \\ k_a = l_{n,a}/l_{n,l} = t_{n,a}/t_{n,l}; \quad k_{тб} = l_{n,тб}/l_{n,l} = t_{n,тб}/t_{n,l}, \quad (3.10)$$

где индексы л, г, а, и тб относятся соответственно к легковому и грузовому автомобилю, автобусу и троллейбусу.

Максимальный коэффициент приведения имеют троллейбусы, которые оказывают максимальное мешающее влияние на остальной транспортный поток. При наличии в транспортном потоке легковых и грузовых машин, автобусов и троллейбусов приведенная интенсивность движения

$$J_{\text{пр}} = (N_{\text{пр}}/t) = [(N_{\text{л}}k_{\text{л}} + N_{\text{г}}k_{\text{г}} + N_{\text{а}}k_{\text{а}} + N_{\text{тб}}k_{\text{тб}})/t](N/N) = \\ = (N/t)(p_{\text{л}}k_{\text{л}} + p_{\text{г}}k_{\text{г}} + p_{\text{а}}k_{\text{а}} + p_{\text{тб}}k_{\text{тб}}) = J \sum_{i=1}^k p_i k_i, \quad (3.11)$$

где $N = N_{\text{л}} + N_{\text{г}} + N_{\text{а}} + N_{\text{тб}} = \sum_{i=1}^k N_i$ — количество транспортных единиц, проследовавших через рассматриваемое сечение дороги или полосы движения за период наблюдения t ; k — количество типов подвижного состава, составляющего транспортный поток; N_i — количество подвижного состава i -го типа; $p_i = N_i/N$ — доля подвижного состава i -го типа в транспортном потоке.

Линейную плотность движения n_l определяют как количество транспортных средств или пешеходов, приходящихся на 1 км длины дороги или полосы движения, а *поверхностную плотность* n_F — как количество транспортных средств, приходящихся на 1 км² селитебной территории города или какой-либо из его зон:

$$n_l = N/l; \quad n_F = N/F_{\text{сел}}. \quad (3.12)$$

Плотность транспортного потока — функция его скорости и интенсивности. Чем больше плотность движения, тем выше вероятность дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и психическое напряжение водителей транспортных средств и ниже скорость движения. Взаимосвязь интенсивности, скорости и плотности транспортного потока выражается *основным уравнением транспортного потока*:

$$J = (N/t)(l/l) = n_l v. \quad (3.13)$$

График зависимости (3.13) называют *основной диаграммой транспортного потока*. На рис. 3.3, в показаны основные диаграммы однородного транспортного потока, состоящего из поездов $l_0 = 10$ м при $t_p = 1,5$ с, $l_0 = l_n$ и тормозном замедлении $a_t = 5$ м/с² (кривая 1) и $a_t = 1$ м/с² (кривая 2). Они показывают, что с ростом плотности движения n_l интенсивность движения J вначале растет, а затем после достижения точки максимума начинает падать. Тангенс угла наклона радиуса-вектора, проведенного из точки O в любую точку A , на кривой диаграммы транспортного потока определяет скорость транспортного потока в режиме, определяемом этой точкой: $\text{tg} \alpha = v$. С ростом плотности транспортного потока растет напряжение движения, а скорость потока падает.

По степени стесненности в зависимости от плотности потока различают свободное движение транспортных средств при низкой плотности, частично связанное, насыщенное, колонное и перенасыщенное. Точка B диаграммы соответствует состоянию транспортного потока, при котором его скорость и соответственно интенсивность движения падают до нуля. Это состояние называют *затором*.

Существенное влияние на характеристики движения и вид основной диаграммы транспортного потока оказывают условия движения на дорогах: обзорность впереди и по бокам, план и профиль дороги, характеристики дорожного покрытия, ширина полосы движения и др. На ухудшение характеристик условий движения водители реагируют снижением фактических скоростей движения транспортных средств.

Сравнение кривых 1 и 2 (рис. 3.3, в) показывает, что вид основных диаграмм транспортного потока определяют характеристики составляющих его транспортных единиц, в частности их динамические показатели и длина, а также психофизические данные водителей, которые определяют выбор ими интервалов до впереди идущего транспортного средства (лидера) и время реакции на сложившуюся транспортную ситуацию. Аналогично можно показать, что существенное влияние на вид диаграммы транспортного потока оказывает его состав.

Как показано на рис. 3.3, в, интенсивность движения не превышает определенного максимума $J_{\max}$, который называют *пропускной способностью* Π дороги или полосы движения:

$$\Pi = J_{\max}. \quad (3.13a)$$

Пропускная способность — важнейшая характеристика транспортных магистралей, определяющая их предельные возможности пропуска транспортного потока. При превышении пропускной способности интенсивность движения и скорость транспортного потока падают до точки полного затора.

Следует отметить, что динамическая модель транспортного потока не обеспечивает точного расчета пропускной способности, так как подменяет реальный стохастический процесс движения транспортных средств детерминированным. Получаемые по ней результаты зависят от выбора l_b , l_r и l_p , которые определяются в реальных условиях субъективной оценкой водителями транспортной обстановки, меняющимся состоянием дорожных покрытий, различной надежностью и быстродействием тормозных устройств, меняющимися условиями видимости пути и другими факторами.

Наряду с динамической моделью используют и другие, в частности вероятностные модели транспортного потока. Большое внимание уделяют его натурным обследованиям. По исследованиям Е. А. Барковой (ЦНИИП градостроительства) динамический габарит определяется [19] в основном не соображениями безопасности, а психологической реакцией водителя на изменения скорости движения относительно привычной. Он минимален при привычных для водителя наиболее часто выдерживаемых скоростях и увеличивается при отклонениях от них. Установлен эффект роста пропускной способности дорог в историческом времени, в основе которого лежит непрерывное совершенствование городских путей сообщения (ГПС), конструкций подвижного состава (в частности, их тормозных средств) и систем организации движения. Качественные скачки в росте пропускной способности ГПС можно ожидать при оборудовании всех транспортных средств автоматическими устройствами контроля минимальных интервалов безопасности между экипажами, внедрения которых можно ожидать примерно к середине 90-х годов текущего столетия, и систем полного автоведения экипажей на дорогах в более отдаленной перспективе.

Исследования интенсивности движения и пропускной способности дорог с учетом стохастического характера процесса движения проводят методами имитационного моделирования на ЭВМ. Исходными данными для этих расчетов служат характеристики дороги (количество полос

движения, показатели качества дорожного покрытия на ее участках, длины участков с одинаковыми дорожными условиями, подъемы и спуски, дорожные знаки, характеристики видимости пути в плане и профиле) и транспортного потока (закон распределения моментов времени появления на дороге транспортных средств и их характеристики — максимальная и рабочая скорость, масса с грузом и без груза и т. д.). Все эти данные и программу имитационного моделирования транспортного потока вводят в ЭВМ. В соответствии с программой моделирования ЭВМ формирует случайные моменты времени появления на дороге транспортных средств, их типы и массу, скорость движения (методом Монте-Карло), рассчитывает с учетом дорожных знаков и допустимого динамического габарита расстояния до впереди идущей машины, вероятность обгона впереди идущей машины (при разрешенном обгоне) и количество обгонов, новые координаты машин после обгона, уменьшение скорости движения машин, задерживаемых впереди идущими, и т. д. В результате моделирования процесса движения определяются статистические характеристики интенсивности движения и пропускной способности: математические ожидания, дисперсия и асимметрия. Этим же расчетом определяют статистические характеристики скорости движения транспортного потока и составляющих его транспортных средств по типам, времени движения по рассматриваемому участку улично-дорожной сети или маршруту и др. [37].

§ 3.2. Скорость движения подвижного состава маршрутного ГПТ и коэффициент использования максимальной разрешенной скорости

По принципу организации движения все виды ГПТ разделяют на две основные группы: маршрутные и немаршрутные (сетевые).

Маршрутными называют виды ГПТ, движение подвижного состава которых организуют по заранее установленным направлениям — маршрутам, специально оборудованным для освоения пассажироперевозок и обеспеченным для этого прикрепленным подвижным составом. Организационной единицей маршрутного ГПТ является маршрут — участок городской транспортной сети, специально оборудованный для беспересадочной перевозки пассажиров прикрепленными поездами.

Схема обычного, так называемого маятникового, маршрута условно показана на рис. 3.4, а. Прямое и обратное направления движения поездов у маршрутов этого типа совмещают на одном и том же транспортном проезде: они показаны стрелками 1 и 2. Перевод поездов с одного направления на другое осуществляется в конечных точках маршрута — на оборотных кольцах ОК. Для посадки и высадки пассажиров на маршруте размещают остановочные пункты О, которые делят его на перегоны П. По маршрутному принципу работают все обычные виды ГМПТ — автобус, троллейбус, трамвай и метрополитен, а также маршрутные такси.

Немаршрутными называют виды ГПТ, движение подвижного состава которых организуют по потребности в пределах той или другой транспортной сети с произвольным выбором направлений движения в пределах ограничений, налагаемых дорожной разметкой и дорожными

знаками. По немаршрутному принципу работает весь легковой автотранспорт.

Каждому из принципов организации движения ГПТ — маршрутному и немаршрутному — присущи свои достоинства и недостатки. Сравнительная оценка их будет дана позднее (см. § 15.1). В этом параграфе рассмотрим понятия скоростей движения подвижного состава маршрутного ГПТ.

Трасса маршрутов характеризуется обычно различными дорожными условиями, меняющимися по длине маршрута. Их определяет видимость пути в плане и профиле впереди и по сторонам движущегося поезда, затяжные спуски, кривые малых радиусов и опасные участки с гололедом, листопадом, изношенными путевыми устройствами, интенсивным посторонним дорожным движением, участки скопления пешеходов и др. В соответствии с меняющимися дорожными условиями на всех участках маршрутов Правила дорожного движения (ПДД) и Правила технической эксплуатации (ПТЭ) отдельных видов ГПТ устанавливают различные ограничения максимальной скорости движения подвижного состава во всех направлениях движения.

На рис. 3.4, б показано пять участков ограничения максимальной скорости движения с разрешенными скоростями $v_{p1}—v_{p5}$ соответственно. Средняя разрешенная максимальная скорость движения в пределах маршрута

$$v_{p.c.p} = \sum_{p1}^m v_{p1} l_{p1} / \sum_{p1}^m l_{p1}, \quad (3.14)$$

где l_{p1} — длина участков ограничения скорости; m — количество участков в пределах маршрута.

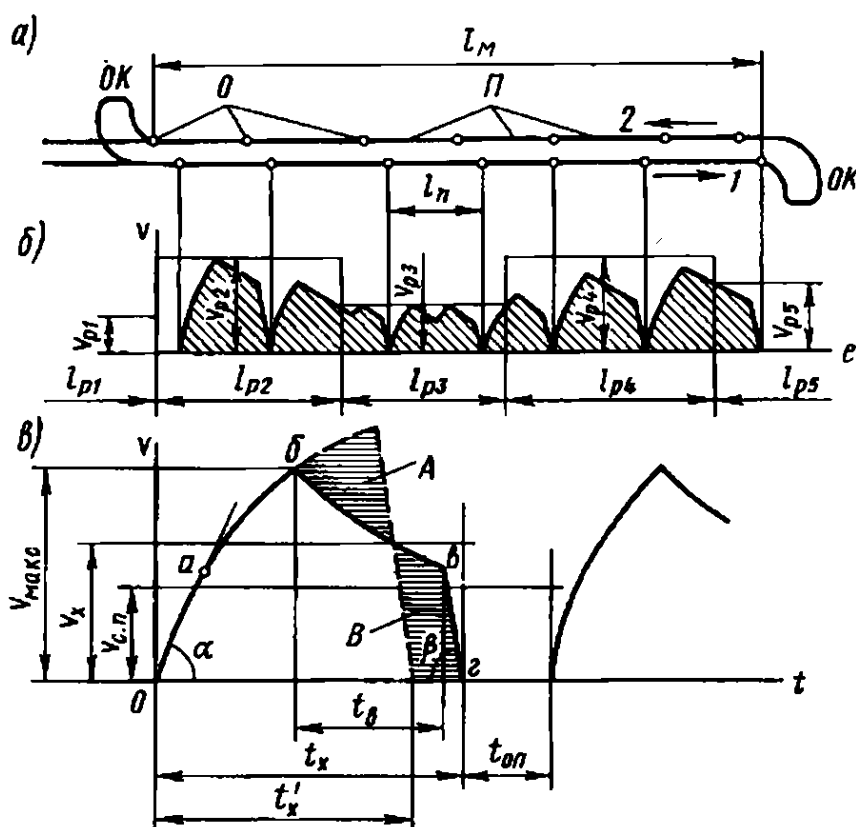


Рис. 3.4

Кривые движения поездов
на маршруте

Суммирование ведется в пределах длины маршрута $l_m (\sum l_{pi} = l_m)$. Величины средней разрешенной скорости движения $v_{p,ср}$ характеризуют правильность выбора трассы маршрута и возможные показатели его эксплуатационной работы. Чем выше средняя разрешенная максимальная скорость $v_{p,ср}$, тем правильнее выбрана трасса и выше ожидаемые эксплуатационные показатели работы маршрута. Поэтому при проектировании транспортной сети и маршрутной системы учитывают не только ожидаемые пассажиропотоки в различных районах города, но и их дорожные условия.

Режим движения поездов при маршрутном принципе работы подвижного состава представляет собой чередование периодов пуска, движения под током по автоматической характеристике тяговых двигателей (при электротяге), выбега, торможения и стоянки на остановочных пунктах для осуществления пассажирообмена. На рис. 3.4, б в пределах ограничения скоростей v_p по участкам $l_{p1}—l_{p5}$ вписаны по перегонам кривые движения $v(l)$ по направлению движения l , а на рис. 3.4, в показана кривая движения $v(t)$ для одного из перегонов.

Движение поездов на перегоне определяют и характеризуют: длина перегона l_n , время движения по перегону от момента трогания на одном остановочном пункте до момента остановки на другом (ходовое время) t_x , наибольшая скорость, достигаемая поездом на перегоне $v_{\max}$ и коэффициент выбега

$$\eta_b = t_b/t_x, \quad (3.15)$$

где t_b — время выбега.

Наибольшая скорость $v_{\max}$, достигаемая поездом на перегоне, имеет два ограничения: она не должна превышать v_p — разрешаемой максимальной скорости по дорожным условиям и конструктивной скорости v_k — максимальной допустимой скорости движения по условиям прочности конструкций подвижного состава или безопасности движения, определяемой конструктивными характеристиками подвижного состава и путевых устройств. Ходовое время при ограничении наибольшей скорости $v_{\max}$ разрешенной максимальной v_p и конструктивной v_k скоростями определяется динамическими характеристиками пускового режима (пусковым ускорением и жесткостью электромеханической характеристики ТЭД), тормозным замедлением в период торможения и временем выбега t_b . Среднее пусковое ускорение до выхода на автоматическую характеристику ТЭД изображается на кривой движения $v(t)$ тангенсом угла α прямой Oa , проведенной из начала координат в точку a выхода на автоматическую характеристику (с учетом масштабов v и t), а тормозное замедление — тангенсом угла β наклона прямой zb , проведенной из точки z начала торможения в точку b момента остановки поезда.

Выбег предусматривают в кривой движения для возможности нагона поездом опозданий, поэтому выбор величины коэффициента выбега имеет первостепенное значение для обеспечения регулярности движения и существенно влияет на эксплуатационные показатели работы маршрута. Движение поезда без выбега при отсутствии ограничений по максимальной разрешенной скорости, т. е. при условии $v_{\max} < v_p$ и $v_{\max} < v_k$,

обеспечивает возможность уменьшения ходового времени до величины t'_x (рис. 3.4, в). В координатах v, t площадь ограниченная кривой движения $v(t)$, изобразает (с учетом масштабов) длину перегона l_n . Для выполнения условия постоянства длины перегона $l_n = \text{const}$, которая измениться не может, построение кривой движения без выбега выполняют так, чтобы площади участков A и B , ограниченных кривой движения, были равны.

Очевидно, что выбег оказывает двойственное влияние на работу маршрута. С одной стороны, он нужен для обеспечения регулярности движения (возможности нагона опозданий), причем чем больше выбег, тем менее напряженна работа поездов на маршруте и больше возможности регулирования движения. С другой стороны, чем больше выбег, тем больше ходовое время и, следовательно, меньше скорость движения на маршруте. Кроме того, от величины коэффициента выбега при электрической тяге зависит расход электрической энергии на движение. Поэтому выбор оптимальной величины коэффициента выбега представляет собой важную и весьма сложную задачу транспортного расчета. Трудности ее решения усугубляются тем, что по ряду причин основные характеристики движения поездов на маршрутах имеют стохастический (случайный) характер и подчиняются, строго говоря, только законам больших чисел.

Средняя скорость движения поезда по перегону (ходовая скорость)*

$$v_x = l_n / t_x. \quad (3.16)$$

Ходовая скорость v_x связана с наибольшей скоростью $v_{\text{макс}}$ движения поезда на перегоне коэффициентом пропорциональности $k_x < 1$, различным для разных условий движения:

$$v_x = k_x v_{\text{макс}}. \quad (3.17)$$

Режим движения поезда на перегоне с учетом стоянки на остановочном пункте для пассажирообмена характеризуется скоростью сообщения на перегоне

$$v_{c.n} = l_n / (t_x + t_{o.n}), \quad (3.18)$$

где $t_{o.n}$ — продолжительность стоянки поезда на остановочном пункте для пассажирообмена, определяемая затратами времени на посадку или высадку одного пассажира $t_{\text{пасс}}$, суммарным количеством входящих и выходящих пассажиров $A_o = A_{\text{вх}} + A_{\text{вых}}$, количеством дверей в поезде для входа и выхода пассажиров n и неравномерностью входа и выхода пассажиров через разные двери, учитываемой коэффициентом $k_{н.д}$:

$$t_{o.n} = t_{\text{пасс}} A_o k_{н.д} / n = t_{\text{пасс}} (A_{\text{вх}} + A_{\text{вых}}) k_{н.д} / n. \quad (3.19)$$

Практически затраты времени $t_{\text{пасс}}$ на посадку или высадку одного пассажира определяют в результате натурных обследований процесса пассажирообмена. Они зависят от конструктивных особенностей подвижного состава и условий посадки-высадки пассажиров: планировоч-

* На метрополитене и железнодорожном транспорте ходовую скорость называют *технической скоростью*.

ных характеристик пассажирского салона кузова, высоты уровня пола пассажирского салона над уровнем посадочной площадки остановочного пункта, степени наполнения подвижного состава пассажирами, удобства расположения поручней, ширины дверей и др. Для всех видов наземного ГПТ (трамвай, троллейбус, автобус) при осуществлении посадки-высадки с уровня дорожного покрытия обычно принимают $t_{\text{пасс}} \approx 1,0$ с; для метрополитена при посадке с платформ, находящихся на уровне пола пассажирского салона, $t_{\text{пасс}} \approx 0,5$ с.

Суммарный пассажирообмен поезда на остановочном пункте оценивают коэффициентом пассажирообмена $\rho_{o.n} = A_o / m_p$, где m_p — расчетная вместимость поезда при максимальном наполнении. Для разных остановочных пунктов величина коэффициента пассажирообмена меняется от нуля до двух. На конечных станциях подвозящих и развозящих маршрутов может быть $\rho_{o.n} > 2$, при отсутствии пассажирообмена на остановочном пункте $\rho_{o.n} = 0$ (это наблюдается только для отдельных поездов, так как означало бы полное отсутствие потребности в организации остановочного пункта). Пассажирообмен $\rho_{o.n} = 2$ означает полную смену пассажиров в поезде при максимальном наполнении. Практически средний пассажирообмен считают большим при $\rho_{o.n} = 0,2$ и малым при $\rho_{o.n} \approx 0,05$.

С учетом коэффициента пассажирообмена

$$t_{o.n} = t_{\text{пасс}} A_o k_{n.d} / n = t_{\text{пасс}} \rho_{o.n} m_p k_{n.d} / n. \quad (3.20)$$

Среднюю скорость движения поезда на длине k перегонов маршрута, определяющую затраты времени пассажиров в пассажиропоездках, называют скоростью сообщения в пассажиропоездке

$$v_{c.n} = \sum_k l_n / \sum_k (t_x + t_{o.n}), \quad (3.21)$$

где $\sum_k l_n$ — суммарная длина k перегонов; $\sum_k (t_x + t_{o.n})$ — затраты времени пассажиров в поездке на длину k перегонов.

Среднюю скорость движения поезда на длине всех m перегонов маршрута называют скоростью сообщения на маршруте*. Скорость сообщения в одном направлении маршрута $v_{c.n}$ и в обоих направлениях $v_{c.m}$:

$$v_{c.n} = \sum_m l_n / \sum_m (t_x + t_{o.n}) = l_m / t_{дн}; \quad (3.22)$$

$$v_{c.m} = \sum_{2m} l_n / \sum_{2m} (t_x + t_{o.n}) = 2l_m / (t_{дв1} + t_{дв2}), \quad (3.23)$$

где $\sum_m (t_x + t_{o.n}) = t_{дн}$ — время движения поезда на маршруте между конечными станциями в одном направлении движения; $\sum_{2m} (t_x + t_{o.n}) = t_{дв1} + t_{дв2}$ — время движения поезда на маршруте в обоих направлениях движения.

* На метрополитене и железнодорожном транспорте скорость сообщения называют коммерческой или участковой скоростью.

На конечных станциях маршрутов (оборотных кольцах) предусматривают обычно более длительную стоянку поездов, чтобы дать водителю непродолжительный отдых и время для отметки моментов прибытия в путевом листе. По своему назначению конечные станции делят на распорядительные (РС) и технические (ТС). На РС находится начальник маршрута и маршрутный диспетчер, управляющий движением на маршруте. На ТС могут быть установлены только штамп-часы для отметки прибытия поездов. Время простоя поездов на РС и ТС в зависимости от длины маршрута и напряженности движения принимают 2—5 мин, причем время простоя t_{PC} на РС и t_{TC} на ТС обычно различно.

Среднюю скорость движения поездов на маршрутах с учетом стоянок на конечных станциях (от момента какого-либо отправления с конечной станции до момента следующего за ним отправления с той же станции) называют эксплуатационной скоростью на маршруте

$$v_s = \sum_{2m} l_n / [\sum_{2m} (t_x + t_{o.n}) + (t_{PC} + t_{TC})] = \\ = 2l_m / [(t_{дв1} + t_{дв2}) + (t_{PC} + t_{TC})], \quad (3.24)$$

где $\sum_{2m} l_n = 2l_m$ — длина маршрута в обоих направлениях движения; $\sum_{2m} [(t_x + t_{o.n}) + (t_{PC} + t_{TC})] = t_p$ — рейсовое время — отрезок времени от момента какого-либо отправления поезда с конечной станции до момента следующего за ним отправления с той же станции*. Полный оборот подвижного состава на маршруте в обоих направлениях движения называют *оборотным рейсом* или просто *рейсом*. Оборотный рейс состоит из двух полурейсов. Если продолжительность полурейсов, т. е. время движения $t_{дв1}$ в одном направлении маршрута и $t_{дв2}$ в другом направлении маршрута равны, то

$$t_p = 2t_{дв} + (t_{PC} + t_{TC}). \quad (3.25)$$

Эксплуатационная скорость v_s — одна из важнейших характеристик при расчетах планирования движения поездов на маршрутах. Величина ее определяет (при прочих равных условиях) необходимый выпуск подвижного состава на линию и себестоимость пассажироперевозок. Чем выше v_s , тем предпочтительнее и обеспечивающая ее система организации движения. Повышение v_s является важнейшей задачей транспортных предприятий ГПТ, которая решается целым комплексом различных организационных и технических мероприятий. Основное влияние на скорость сообщения v_s оказывает выбор длины перегонов l_n и время стоянки поездов $t_{o.n}$ на остановочных пунктах для пассажирообмена (чем больше l_n и меньше $t_{o.n}$, тем больше v_s), меньшее влияние оказывают удельный вес выбега в кривой движения (коэффициент выбега) и динамические показатели подвижного состава: среднее пусковое ускорение, тормозное замедление и крутизна (жесткость) скоростной характеристики ТЭД. Эти же факторы, плюс время t_{PC} и t_{TC} стоянки поездов на конечных станциях маршрутов определяют и эксплуатационную скорость v_s .

* На метрополитене рейсовое время t_p называют *временем оборота*.

Между $v_{с.м}$ и v_s существует соотношение, которое может быть легко получено из (3.23) и (3.24):

$$v_s = v_{с.м} / [1 + v_{с.м} (t_{PC} + t_{TC}) / (2l_m)]. \quad (3.26)$$

$$v_{с.м} = v_s / [1 - v_s (t_{PC} + t_{TC}) / (2l_m)]. \quad (3.27)$$

Обычно величина v_s меньше $v_{с.м}$ на 4—7%.

Как уже отмечено, важное значение в организации движения имеет максимальное использование разрешенной скорости движения на перегонах. Для сравнения различных систем организации движения по степени использования разрешенной скорости движения на маршрутах можно ввести коэффициент использования максимальной разрешенной скорости

$$k_v = v_{с.м} 2l_m / \sum v_p l_p, \quad (3.28)$$

где суммирование произведений $v_p l_p$ производится на длине маршрута в обоих направлениях движения.

Можно также ввести понятие экономической скорости $v_{с.э}$ — наиболее желательной скорости сообщения по экономическим соображениям. Повышение скорости сообщения снижает трудность транспортных передвижений, уменьшает потребное количество подвижного состава для освоения заданных пассажироперевозок, улучшает транспортную обслуженность города. Но наряду с этим повышение скорости сообщения приводит к снижению регулярности движения, повышению расходов на топливо и затраты электрической энергии на движение, росту затрат на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава, росту количества ДТП. Поэтому зависимость $v_c(C)$, где C — затраты, зависящие от изменений скорости сообщения v_c , имеет точку минимума суммарных затрат C , которой соответствует скорость сообщения $v_{с.э}$. Расчет экономической скорости $v_{с.э}$ является важнейшей, но непростой задачей теории городских пассажирских перевозок.

§ 3.3. Понятия передвижения и поездки

Перемещения людей в городском пространстве, связанные с их производственными и культурно-бытовыми нуждами, начинаются и заканчиваются в квартирах жилых домов, у рабочих мест заводов и фабрик, в магазинах и универмагах, в зрительных залах театров и кинотеатров, на трибунах стадионов, в местах массового отдыха и т. д. Все эти объекты называют центрами тяготения или центрами транспортного тяготения. Перемещения людей между центрами транспортного тяготения можно представить в общем случае в виде суммы передвижений, совершаемых внутри центров тяготения от точки их зарождения, например квартиры жилого дома, до выхода из них (двери пункта отправления, например, подъезда жилого дома), передвижения от двери пункта отправления (ПО) до двери пункта назначения (ПН), например проходной завода, и передвижения от двери ПН до цели передвижения, например рабочего места у станка, стола и т. д.

В теории городских пассажирских перевозок (ГПП) обычно рассматривают перемещения людей от двери ПО до двери ПН. Передвижения внутри центров тяготения до двери ПО или от двери ПН приходится принимать во внимание в домах повышенной этажности и объектах больших территориальных размеров, например на территориях больших заводов и фабрик, ВДНХ, крупных стадионов, т. е. в тех случаях, когда затраты времени в них составляют существенную долю общих затрат времени на передвижение. Эти передвижения могут быть пешеходными и транспортными с использованием эскалаторов, движущихся тротуаров, лифтов и других видов внутреннего транспорта, но все они совершаются вне городских путей сообщения (ГПС) и не загружают их. Объектом изучения теории ГПП являются обычно перемещения людей от двери ПО до двери ПН, накладывающиеся на ГПС. Затраты времени на передвижения внутри ПО и ПН учитывают иногда при необходимости уточнения доли общих затрат времени на передвижения, допустимых на ГПТ.

Основными понятиями теории ГПП, характеризующими перемещения людей в городском пространстве, являются понятия передвижения и поездки. *Передвижением* (корреспонденцией) в теории ГПП называют перемещения людей от двери ПО к двери ПН центров тяготения (без посещения попутно каких-либо других промежуточных центров тяготения), где передвижение замещается действиями, составляющими его цель. Передвижения могут быть простыми, сложными, пешеходными, транспортными и составлять цепочки передвижений.

Простыми называют передвижения от двери ПО к двери ПН, осуществляемые пешком (без посещения других центров тяготения) или в виде беспересадочной транспортной поездки на том или другом виде транспорта, например легковом автомобиле от двери ПО к двери ПН.

Сложными или *составными* называют передвижения от двери ПО к двери ПН (без посещения других центров тяготения), состоящие из пешеходных и транспортных или только транспортных, но с пересадками.

Транспортными называют передвижения с использованием различных видов ГПТ — ГМПТ или ИПТ. Простое транспортное передвижение, рассматриваемое как цикл от момента входа пассажира в транспортное средство на каком-либо остановочном пункте до момента выхода из него на другом остановочном пункте, называют *маршрутной поездкой*. Маршрутная поездка характеризуется, таким образом, несменяемостью поезда, в котором она совершается. Транспортное передвижение между ПО и ПН, состоящее из одной или нескольких маршрутных поездок, одного или разных видов ГПТ (трамвая и троллейбуса, метрополитена и автобуса и др.) называют *сетевой поездкой*.

Таким образом, сетевая поездка может быть простой и сложной. Сложные сетевые поездки отличаются от простых *пересадочностью*, т. е. наличием пересадок из одного транспортного средства в другое в пересадочных узлах. При этом неважно, осуществляются ли они в поездах разных маршрутов одного или разных видов ГПТ. Смена одного поезда на другой (пересадка) означает всегда конец одной маршрутной поездки и начало другой.

Следует отметить, что понимание разницы между маршрутной и сетевой поездкой имеет важное значение в транспортных расчетах и необходимо для правильного определения объемов пассажироперевозок. При принятых системах тарифов (оплаты проезда) объем пассажироперевозок уличных видов ГПТ определяют как количество освоенных маршрутных поездок, а на метрополитенах — как количество освоенных сетевых поездок.

Сложные передвижения не следует путать с цепочками передвижений. Любые простые и сложные передвижения осуществляются между ПО и ПН без посещения каких бы то ни было промежуточных ПН, так как посещение любого ПН — конец рассматриваемого передвижения. *Цепочкой передвижений* называют совокупность нескольких последовательно совершаемых передвижений, каждое из которых заканчивается посещением какого-либо ПН, который затем становится началом (ПО) следующего передвижения. Цепочки передвижений между k пунктами отправления и назначения состоят из k простых или сложных передвижений, которые могут быть пешеходными, транспортными и смешанными.

Примеры простых и сложных передвижений показаны на рис. 3.5, а, б, в. Они осуществляются между ПО и ПН без посещения промежуточных ПН, поэтому каждое из них представляет собой одну сетевую поездку. На рис. 3.5, г показана цепочка из трех передвижений: пешеходного между ПО и ПН₁ и двух транспортных между ПН₁ и ПН₂ и ПН₂ и ПО. В этом случае одно передвижение отделяет от другого посещение ПН.

Основными характеристиками передвижений являются протяженность (длина), скорость сообщения и затраты времени на передвижение. Наиболее общая характеристика передвижения — затраты времени на передвижение t_0 , которые определяются длиной передвижения l_0 и приведенной скоростью сообщения в передвижении:

$$t_0 = l_0 / v_{с.пр.} \quad (3.29)$$

Затраты времени на передвижение называют *трудностью сообщения*. Однако трудность сообщения определяется не только затратами

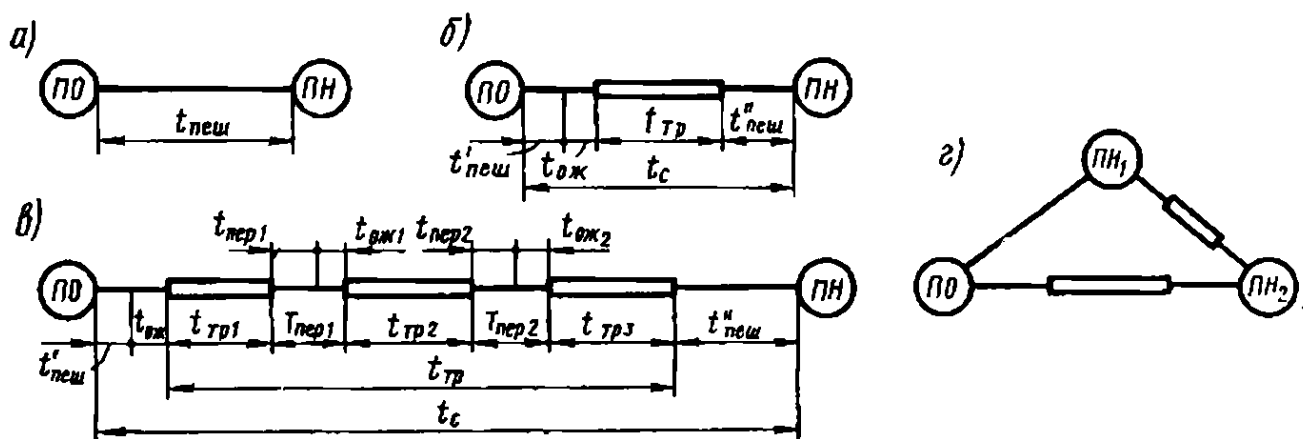


Рис. 3.5

Схемы простых и сложных передвижений

времени в передвижении. Иногда трудность сообщения рассматривают как обобщенную характеристику, включающую в себя ряд показателей удобства передвижений, определяющих транспортную утомляемость: затраты времени на передвижение, статического и динамического комфорта подвижного состава, пересадочности, частоты и регулярности движения, удельного веса пешеходных затрат времени и ожидания транспорта в общих затратах времени на передвижения и др. Однако количественного выражения трудности сообщения в таком понимании в настоящее время еще не найдено, поэтому в дальнейшем будем рассматривать ее как затраты времени на передвижения.

В суточном бюджете времени на передвижения затрачивается некоторая статистически постоянная часть. Это явление, представляющее собой закон статистической пространственной самоорганизации городского населения, определяет законы расселения городского населения по отношению к центрам трудового и культурно-бытового тяготения, проектирование транспортных сетей и выбор видов транспорта для обслуживания пассажироперевозок. Максимальные затраты времени на передвижения $T_{\max}$ ограничиваются допустимым пределом транспортной утомляемости, который устанавливается с учетом психофизиологических возможностей организма человека, экономических, социальных и других факторов. В соответствии с действующими Строительными нормами и правилами (СНиП II-60—75) максимальные затраты времени на передвижения в трудовых поездках (в один конец) не должны превышать для большинства (80—90%) трудящихся 40 мин в крупнейших и крупных городах и 30 мин в остальных. В соответствии с этим ограничением при проектировании транспортных систем выбирают виды ГПТ и необходимые характеристики их транспортных сетей и маршрутных систем.

Составляющими затрат времени на передвижения в общем случае являются (см. рис. 3.5, б): $t'_{\text{пеш}}$ — на пешеходный подход от двери ПО к остановочному пункту ГПТ, $t_{\text{ож}}$ — ожидание транспорта на остановочном пункте, $t_{\text{тр}}$ — движение в транспорте и $t''_{\text{пеш}}$ — пешеходный подход от остановочного пункта ГПТ к двери ПН. Затраты времени $t'_{\text{пеш}}$ и $t''_{\text{пеш}}$ учитывают обычно усредненной величиной $2t_{\text{пеш}} = (t'_{\text{пеш}} + t''_{\text{пеш}})$.

Таким образом трудность сообщения в передвижениях составляет:

$$t_o = 2t_{\text{пеш}} + t_{\text{ож}} + t_{\text{тр}}. \quad (3.30)$$

Удельный вес составляющих трудности передвижений может быть различным. В среднем транспортная составляющая $t_{\text{тр}} \approx 50\%$, затраты времени на пешеходные передвижения $2t_{\text{пеш}}$ (пешеходная составляющая) $\approx 30\%$ и на ожидание транспорта $t_{\text{ож}} \approx 20\%$.

Выражение (3.30) определяет затраты физического времени в передвижениях. Психологическая оценка пассажирами отдельных его составляющих неравнозначна. Поэтому в транспортных расчетах используют иногда понятие *приведенного транспортного времени*:

$$t_{\text{прив}} = 2t_{\text{пеш}}\epsilon_{\text{пеш}} + t_{\text{ож}}\epsilon_{\text{ож}} + t_{\text{тр}}\epsilon_{\text{тр}}, \quad (3.31)$$

где $\varepsilon_{пеш}$, $\varepsilon_{ож}$, $\varepsilon_{тр}$ — весовые коэффициенты психологической оценки пассажирами затрат времени на передвижения. Обычно составляющие $t_{прив}$ приводят к транспортному времени $t_{тр}$, т. е. принимают $\varepsilon_{тр} = 1$. В этом случае по средним статистическим данным $\varepsilon_{ож} = 1,5$ и $\varepsilon_{пеш} = 2$.

Время подхода к остановочному пункту. Транспортные передвижения начинаются и заканчиваются у остановочных пунктов, которые являются центрами тяготения транспортных линий ГМПТ. Зона пешеходной доступности остановочного пункта оценивается принятым максимально допустимым временем подхода к остановочному пункту $t_{п.д. макс}$ или расстоянием $l_{п.д. макс}$, проходимым пешеходом за это время. Если доступность некоторой точки $t_{п.д.} < t_{п.д. макс}$, то она лежит в зоне пешеходной доступности остановочного пункта, если же $t_{п.д.} > t_{п.д. макс}$, то — вне этой зоны. Конфигурация зоны пешеходной доступности остановочных пунктов определяется планировочной структурой прилегающей к ним территории. В предположении изотропности городского пространства она представляет собой окружность радиуса $R_{п.д. макс}$ с центром в остановочном пункте ОП (рис. 3.6, а). При длине перегона $l_p > 2R_{п.д. макс}$ зоны влияния соседних остановочных пунктов ОП не перекрываются. Если принять, что точки зарождения передвижений к ОП расположены внутри его зоны пешеходной доступности равноплотно, то средний радиус ее (среднюю пешеходную доступность ОП) можно определить как радиус инерции:

$$R_{п.д. ср} = (2/3) R_{п.д. макс} \quad (3.32)$$

Реальное городское пространство всегда анизотропно. Если учесть фактическую непрямолинейность подхода к остановочному пункту коэф-

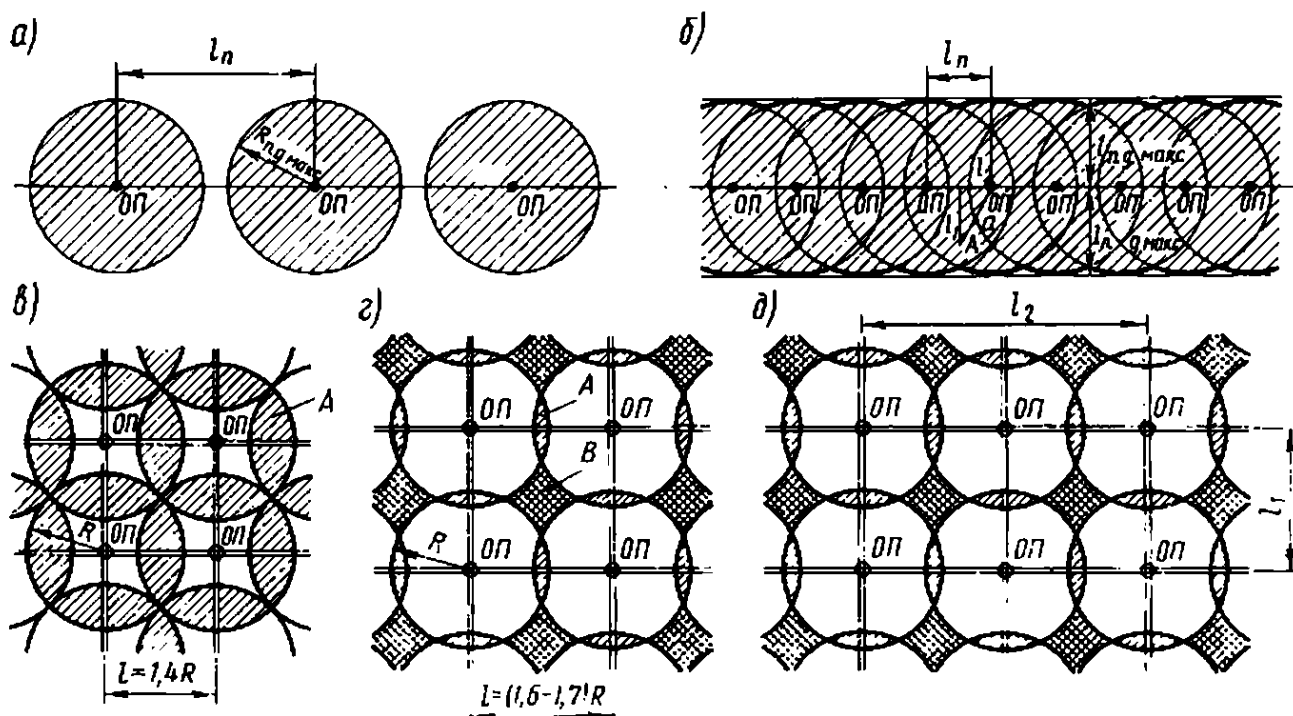


Рис. 3.6

Модели формирования зон пешеходной доступности остановочных пунктов (ОП) транспортных линий

коэффициентом непрямолинейности $k_{нп}$, то среднее расстояние и время подхода к нему будут:

$$l_{пеш} = (2/3) k_{нп} R_{п.д. макс}; \quad t_{пеш} = 2k_{нп} R_{п.д. макс} / (3v_{пеш}). \quad (3.33)$$

При коротких перегонах $l_n < 2R_{п.д. макс}$, характерных для уличного ГПТ, зоны влияния отдельных остановочных пунктов перекрываются, как показано на рис. 3.6, б. При достаточной малой длине перегонов зону влияния транспортных линий можно считать ограниченной линиями, параллельными транспортной и удаленными от нее на расстояние зоны пешеходной доступности $l_{п.д. макс} = R_{п.д. макс}$. Поход от некоторой точки A зоны влияния транспортной линии к $ОП$ определяется характером застройки прилегающей территории. Обычно принимают одну из двух схем подхода к $ОП$, показанных на рис. 3.6, б:

$$l_{пеш} = l_1 + l_2 \quad (3.34)$$

или

$$l_{пеш} = a, \quad (3.35)$$

где l_1 — передвижение от точки A к транспортной линии по кратчайшему расстоянию; l_2 — передвижение к ближайшему остановочному пункту $ОП$ вдоль транспортной линии; a — передвижение от точки A к $ОП$ по кратчайшему расстоянию.

Расстояние l_1 подхода к транспортной линии зависит от ширины $l_{п.д. макс}$ зоны пешеходной доступности, расстояние l_2 подхода к $ОП$ вдоль транспортной линии — от длины перегона l_n . Максимальные, минимальные и средние величины l_1 и l_2 очевидно равны:

$$l_{1 макс} = l_{п.д. макс}; \quad l_{1 мин} = 0; \quad l_{1 ср} = 0,5l_{п.д. макс} = l_{п.д. ср}; \\ l_{2 макс} = 0,5l_n; \quad l_{2 мин} = 0; \quad l_{2 ср} = 0,25l_n. \quad (3.36)$$

Средняя величина зоны пешеходной доступности транспортных линий $l_{п.д. ср}$ определяется плотностью транспортной сети. В конкретных планировочных условиях она может быть найдена расчетом, а в общем случае определяется по эмпирической формуле А. Х. Зильбертала:

$$l_{п.д. ср} = 1/(3\delta), \quad (3.37)$$

где δ — плотность транспортной сети.

В соответствии с моделью подхода к $ОП$, выражаемой уравнением (3.34), учитывая (3.36)—(3.37), возможную непрямолинейность передвижений на пути l_1 и вероятность выбора пассажирами подхода не к ближайшему $ОП$, а к более удаленному, но обеспечивающему меньшие общие затраты времени в передвижениях, получаем:

$$l_{пеш} = k_{нп} k_{в.о} [1/(3\delta) + l_n/4]; \quad t_{пеш} = (k_{нп} k_{в.о} / v_{пеш}) \times \\ \times [1/(3\delta) + l_n/4], \quad (3.38)$$

где $k_{нп} = 1,2$ — коэффициент непрямолинейности подхода (отношение фактического расстояния передвижения между некоторыми пунктами A и B к кратчайшему расстоянию между ними «по воздушной прямой»);

$k_{в.о} = 1 + v_{пеш}/v_c$ — коэффициент выбора остановочного пункта, обеспечивающего экономию общих затрат времени на передвижение по сравнению с поездкой от ближайшего *ОП*; v_c — скорость сообщения рассматриваемого вида транспорта.

Иногда при расчетах $l_{пеш}$ и $t_{пеш}$ принимают модель передвижения к *ОП* не по схеме $l_{пеш} = l_1 + l_2$, а по схеме $l_{пеш} = a$. В этом случае

$$l_{пеш} = k_{ип} k_{в.о} \sqrt{[1/(3\delta)]^2 + (l_n/4)^2};$$

$$t_{пеш} = (k_{ип} k_{в.о} / v_{пеш}) \sqrt{[1/(3\delta)]^2 + (l_n/4)^2} \quad (3.39)$$

Расчеты времени подхода к *ОП* тесно связаны с расположением их на транспортной сети, нормированием радиусов пешеходной доступности $R_{п.д.макс}$ и транспортной обслуженности территории города. Все эти характеристики тесно связаны с характеристиками городской застройки по экономическим, архитектурно-планировочным и другим соображениям. Для городов, расположенных в средней климатической зоне, «Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог» ЦНИИП градостроительства [14] рекомендуют принимать максимально допустимое расстояние пешеходного подхода к ближайшим остановкам МПТ в районах с капитальной многоэтажной застройкой (в среднем более двух этажей) равным 500 м и в районах с малоэтажной (усадебной) застройкой — 700 м, причем с учетом непрямолинейности подходов их следует сокращать на 20% в расчете на коэффициент непрямолинейности подхода $k_{ип} = 1,2$, т. е. принимать соответственно равными 400 и 560 м.

Остановочные пункты располагают в узлах (пересечениях) транспортной сети и в промежутках между узлами (при больших расстояниях между ними), совмещая их с центрами массового тяготения населения — у крупных универмагов, зрелищных предприятий и т. д. Это обеспечивает минимальные пути передвижения пассажиров при пересадках с одного направления движения на другое и снижение общих затрат пешеходного времени.

Расположение *ОП* должно обеспечивать максимальную транспортную обслуженность городской территории при умеренно необходимой плотности транспортной сети. Соотношение между ними должно устанавливаться по критерию максимальной народнохозяйственной эффективности транспортной системы. При регулярной квадратной транспортной сетке и расположении остановочных пунктов *ОП* в ее узлах транспортная обслуженность городской территории будет полной, т. е. все ее точки будут находиться в зоне пешеходной доступности *ОП*, при шаге транспортной сетки $l = l_n = 1,4 R_{п.д.макс}$ (рис. 3.6, в). В этом случае при многоэтажной капитальной застройке $l = 400 \cdot 1,4 = 560$ м и при индивидуальной застройке $l = 560 \cdot 1,4 = 785$ м. Такие размеры междумагистральных территорий могут оказаться неприемлемыми по градостроительным и экономическим соображениям. При этом решении создаются обширные территории *A* двойного транспортного обслуживания, которые, с одной стороны, удобны для населения, так как увеличивают доступность *ОП*, но, с другой стороны, требуют неоправданного

повышения плотности транспортной сети, что при заданном объеме транспортной работы может приводить к ее недогрузке и увеличению интервалов между поездами с соответствующим снижением уровня транспортного обслуживания населения.

Для сокращения участков двойного обслуживания транспортную сетку целесообразно раздвинуть.

Оптимальное расстояние между магистральными улицами, идущими в направлении преобладающих пассажиропотоков, и оптимальную длину перегонов между ОП по «Методическим указаниям» [14] принимают:

$$l_{\text{опт}} = l_{\text{п.опт}} = (1,6 \div 1,7) R_{\text{п.д. макс.}} \quad (3.40)$$

При этом в пределах межмагистральной территории появляются участки В, не охватываемые принятым радиусом доступности ОП (рис. 3.6, з), но они не превышают 5—10% обслуживаемой селитебной территории. При $R_{\text{п.д. макс.}} = 400$ м по (3.40) получаем:

$$l_{\text{опт}} = l_{\text{п.опт}} = (1,6 \div 1,7) R_{\text{п.д. макс.}} = 640 \div 680 \text{ м.}$$

При необходимости дальнейшего снижения плотности транспортной сети можно увеличивать расстояния между магистралями, идущими в направлении второстепенных пассажиропотоков. «Методические указания» рекомендуют принимать их кратными длине перегона $l_{\text{п}}$. В качестве примера на рис. 3.6, д показан элемент транспортной сети при $l_1 = (1,6 \div 1,7) R_{\text{п.д. макс.}} = 640 \div 680$ м и $l_2 = 2l_1$.

Полученные формулы и построения для определения $l_{\text{пеш}}$ и $t_{\text{пеш}}$ справедливы только в пределах принятых расчетных моделей, в частности при равноплотном размещении населения и изотропности планировочной структуры территории, обслуживаемой транспортными линиями. Фактически оба эти допущения неверны. Планировочная структура всегда создает анизотропность связей, а размещение населения приспособляется к их сокращению, в частности должно быть максимально плотным в непосредственной близости к ОП. Расчетные модели навязывают пешеходам определенные схемы поведения при подходе к ОП, которые не учитывают фактической планировочной структуры и могут существенно отличаться от действительных.

Точные значения $l_{\text{пеш}}$ и $t_{\text{пеш}}$ можно получить только как статистические величины натурными обследованиями передвижений с расчетом по формуле

$$l_{\text{п.д. ср}}(s) = \sum_i^s H_i l_i / \sum_i^s H_i, \quad (3.41)$$

где H_i — население элементарного участка Δs селитебной зоны s , участвующее в корреспонденциях рассматриваемого вида; l_i — расстояние его пешеходных передвижений к ОП транспортной сети.

Величины $l_{\text{п.д. ср}}$, определяемые по (3.41), зависят от планировочных решений рассматриваемых районов и характера их застройки. Из формул (3.38) и (3.39) следует, что главными факторами, определяющими затраты времени на пешеходный подход к ОП, являются плотность транспортной сети δ и длина перегона $l_{\text{п}}$. Их оптимизируют по критерию минимума общих затрат времени на передвижение с учетом экономических и других ограничений.

Отметим, что вследствие различной планировочной структуры районов, в частности в центральной, срединной и периферийной зонах реальных городов, плотность сетей МПТ в них различна и распределение населения по дальности подхода к ОП имеет вид кривой, аналогичной по форме кривой распределения передвижений по дальности (см. рис. 3.10). Максимальное расстояние подхода к ОП МПТ превышает в некоторых случаях 2,5—3,5 км, а минимальное существенно ниже 0,5 км. Поэтому принципиально правильнее нормировать не максимальный радиус доступности ОП МПТ, как рекомендуют «Методические указания», а долю населения, реализующего подходы к ОП МПТ на расстояние, не превышающее установленного, например 0,5 км.

Время ожидания поезда. Время ожидания пассажиром очередного поезда на остановочном пункте ГПТ является функцией интервала t_n между поездами. Очевидно, что $t_{ож. макс} = t_n$, когда пассажир подходит к остановке в момент подхода очередного поезда, но не входит в него, и $t_{ож. мин} = 0$, когда он подходит к остановке в момент отхода поезда и входит в него без потери времени на ожидание. Следовательно, среднее время ожидания пассажирами поезда на остановке

$$t_{ож} = 0,5t_n. \quad (3.42)$$

Если пассажир ожидает поезд одного определенного маршрута, то в (3.42) t_n — маршрутный интервал этого маршрута. Если же он может воспользоваться поездами всех маршрутов, проходящих по транспортной линии в рассматриваемой точке, то t_n — сетевой интервал или интервал между двумя следующими один за другим поездами независимо от их распределения по маршрутам. На участке линии, по которой проходит s маршрутов, интенсивность движения

$$J_c = J_{m1} + J_{m2} + \dots + J_{mi} + \dots + J_{ms} = \sum_{i=1}^s J_{mi},$$

где J_{mi} — интенсивность движения на i -м маршруте.

Маршрутный интервал — величина, обратная интенсивности движения [см. (3.2)], поэтому с учетом (3.42) сетевой интервал t_c может быть найден из выражения

$$1/t_c = 1/t_{n1} + 1/t_{n2} + \dots + 1/t_{ns} = \sum_{i=1}^s 1/t_{ni}. \quad (3.43)$$

Выражением (3.42) можно воспользоваться для определения среднего времени ожидания пассажиром поезда на остановочном пункте только в том случае, когда регулярность движения составляет 100%, т. е. маршрутные интервалы между поездами соблюдаются с абсолютной точностью. Практически это условие не может быть выдержано. Интервал между поездами представляет собой стохастическую (случайную) вероятностную величину, причем отклонения его от среднего значения подчиняются закону нормального распределения (закону случайных ошибок), графически показанному на рис. 3.7:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp - \frac{(x - M)^2}{2\sigma^2}, \quad (3.44)$$

где $f(x)$ — плотность распределения вероятности отклонения случайной величины x от ее среднего значения M (математического ожидания); σ — среднее квадратическое отклонение величины x от математического ожидания,

$$M = (\sum_1^n x) / n; \quad \sigma^2 = \sum_1^n [(x - M)^2] / n; \quad (3.45)$$

n — количество рассматриваемых значений величины x .

В рассматриваемом случае под x нужно понимать фактическую величину интервала t_{ni} между поездами, а под M — средний интервал t_n . Среднее квадратическое отклонение σ_n интервалов t_{ni} между поездами графически определяется абсциссами точек перегиба кривой нормального распределения. Фактически рейсы поездов считают регулярными, если отклонения интервалов между ними (или отклонения во времени движения от заданного расписанием) не выходят за определенные пределы ($-x_n$) и $(+x_{on})$. Рейсы с отклонениями, превышающими эти нормальные величины, считают нерегулярными.

Среднее квадратическое отклонение σ характеризует дисперсию (разброс) случайной величины x относительно ее математического ожидания. На рисунке показаны функции распределения двух случайных процессов: 1 — с меньшей дисперсией; 2 — с большой дисперсией. Увеличение σ означает увеличение дисперсии.

Кроме среднего квадратического отклонения σ_n на величину времени ожидания пассажиром поезда на остановочном пункте влияет фактическое наполнение поездов. При подходе к остановочному пункту переполненного поезда посадка может не состояться. В расчетах полагают, что отказ пассажиру в посадке происходит во всех случаях подхода к остановочному пункту поезда с наполнением, превышающим принятое максимальное расчетное. Фактически пассажир может уехать в переполненном поезде и время его ожидания на остановочном пункте будет меньше принятого по расчету вероятности переполнения поездов, но

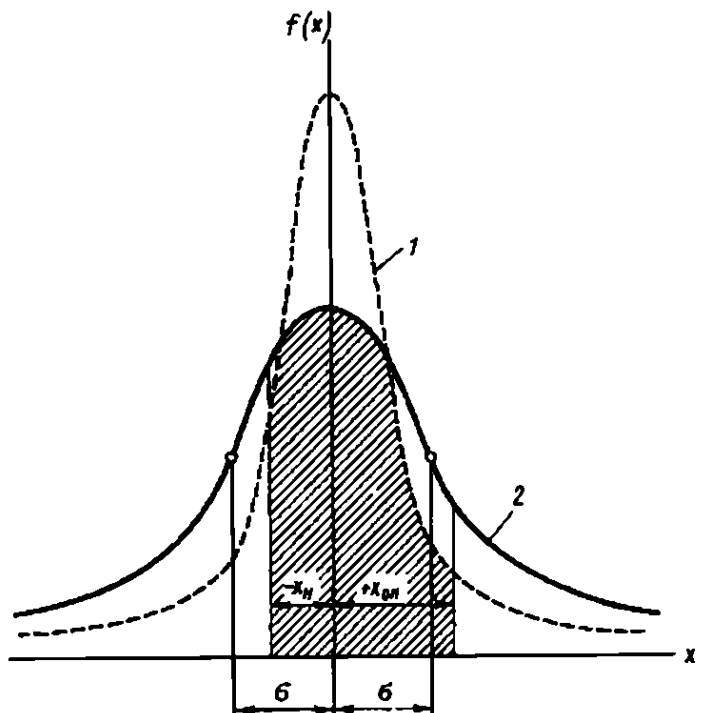


Рис. 3.7

Кривые плотности нормального распределения вероятностей

условия его проезда не будут соответствовать необходимым по требованиям транспортной комфортабельности, а транспортная утомляемость за счет сокращения времени передвижения не только не уменьшится, а возможно и увеличится по сравнению с той, которая будет при некотором увеличении времени передвижения, но в нормальных условиях проезда.

Наполнение поездов пассажирами

$$m_p = m_c + \alpha F_{ст},$$

где m_c — количество мест для сидящих пассажиров в пассажирском салоне поезда; α — коэффициент наполнения прохода — принятая норма или фактическое заполнение площади $F_{ст}$ стоящими пассажирами (количество пассажиров на 1 м^2 свободной площади пола); $F_{ст}$ — свободная площадь пола пассажирского салона, предназначенная для размещения стоящих пассажиров. В соответствии с действующими ГОСТ нормальным считают наполнение поездов тогда, когда заняты все места для сидящих пассажиров и свободная площадь пола пассажирского салона при $\alpha = 5 \text{ чел/м}^2$; максимальным, допускаемым в часы пик, — когда заняты все места для сидящих пассажиров и свободная площадь пола пассажирского салона при $\alpha = 8 \text{ чел/м}^2$.

С учетом средних квадратических отклонений σ_n фактических интервалов между поездами от средних t_n и вероятности отказа пассажирам в посадке $P_{отк}$ среднее время ожидания пассажирами поездов на остановочных пунктах ГПТ

$$t_{ож} = 0,5t_n\varepsilon_p = 0,5t_n[1 + (\sigma_n/t_n)^2 + 2P_{отк}], \quad (3.46)$$

где ε_p — коэффициент, учитывающий случайные отклонения фактического интервала от расчетного и возможность отказа пассажиру в посадке при переполнении поезда. Для средних условий в часы пик можно принимать $t_n = 4 \text{ мин}$, $\sigma_n = 3 \text{ мин}$, $P_{отк} = 0,1$. При этом $\varepsilon_p = 1 + (\sigma_n/t_n)^2 + P_{отк} = 1 + (3/4)^2 + 2 \cdot 0,1 = 1 + 0,56 + 0,2 = 1,76$.

Приведенный пример позволяет сделать следующие выводы:

1. При нерегулярном движении и переполнении поездов затраты времени на ожидание пассажирами посадки на остановочных пунктах увеличиваются весьма значительно — в приведенном выше примере расчета на 76%, т. е. почти в два раза.

2. Основное влияние на увеличение времени ожидания пассажирами поездов оказывают отклонения интервалов от заданных расписанием движения.

Учитывая, что доля времени ожидания поездов в общей трудности передвижений довольно значительна (составляет примерно 20%), все

* Фактическое наполнение поездов в часы максимальной нагрузки нередко превышает $\alpha = 8 \text{ чел/м}^2$ и достигает 10. Поэтому при расчетах подвижного состава на прочность принимают $\alpha = 10 \text{ чел/м}^2$. При расчетах городских транспортных систем ГМПТ требуемое количество подвижного состава для освоения пассажироперевозок в генеральном плане определяют из расчета нормального наполнения при $\alpha = 3 \text{ чел/м}^2$ и максимального в часы пик $\alpha = 5 \text{ чел/м}^2$.

эти факторы приходится тщательно изучать. Снижение времени ожидания $t_{ож}$ является резервом не только уменьшения трудности передвижений, но и роста доли передвижений, осваиваемых ГМПТ, так как при большом $t_{ож}$ часть пассажиров с малой длиной поездки на транспорте предпочитает транспорту пешеходное передвижение. Математическое ожидание передвижений, предъявляемых на транспорт (осваиваемых ГПТ), определяется соотношением затрат времени $T_{пеш}$ в пешеходном и $T_{тр}$ в транспортном передвижении между ПО и ПН. Передвижение будет транспортным при условии:

$$T_{пеш} > T_{тр} = 2t_{пеш} + t_{ож} + t_{тр}, \quad (3.47)$$

причем нужно учитывать, что в общем случае пути пешеходного и транспортного передвижений между ПО и ПН могут быть различными.

Транспортное время. Затраты времени в маршрутной поездке определяются ее длиной $l_{мп}$ и скоростью сообщения v_c того вида ГПТ, на котором она совершается:

$$t_{мп} = l_{мп}/v_c. \quad (3.48)$$

Затраты времени $T_{пер}$, связанные с пересадками в сетевых поездках, складываются из затрат времени $t_{пер}$ на пешеходное передвижение между остановочными пунктами конца предыдущей i -й и начала следующей j -й маршрутной поездки (если эти остановочные пункты совмещены, то $t_{пер} = 0$) и $t_{ож}$ на ожидание поезда j -го направления:

$$T_{пер} = t_{пер} + t_{ож}. \quad (3.49)$$

Затраты времени $t_{пер}$ определяются условиями размещения остановочных пунктов в узлах пересадки и удобством передвижения между ними. В практике проектирования стремятся свести $t_{пер}$ к нулю методом совмещения остановочных пунктов разных маршрутов одного и разных видов транспорта. Затраты времени $t_{ож}$ на ожидание транспорта при пересадке не отличаются от затрат времени на ожидание транспорта в начале передвижения, но при больших интервалах между поездами их следует сокращать путем согласования расписаний движения поездов i -го и j -го направлений, как это делается в железнодорожной практике.

В сложном (сетевом) транспортном передвижении, состоящем из n маршрутных поездок, транспортное время (трудность транспортного передвижения)

$$t_{тр} = \sum^n t_{мп} + \sum^{n-1} T_{пер} = \sum^n t_{мп} + \sum^{n-1} (t_{пер} + t_{ож}). \quad (3.50)$$

Скорость сообщения в сетевых передвижениях $v_{с.пр}$ (приведенную скорость сообщения в передвижениях) определяют с учетом всех его составляющих:

$$\begin{aligned} v_{с.пр} &= l_o/t_o = (2l_{пеш} + l_{тр})/(2t_{пеш} + t_{ож} + t_{тр}) = \\ &= (2l_{пеш} + l_{тр})/\{2t_{пеш} + t_{ож} + [\sum^n t_{мп} + \sum^{n-1} (t_{пер} + t_{ож})]\}. \end{aligned} \quad (3.51)$$

Отметим, что наличие пересадок, требующих затрат времени на пешеходные переходы и ожидание транспорта, приводит к существенному снижению приведенной скорости сообщения в передвижении относительно скорости сообщения используемых видов ГПТ, росту затрат времени в передвижениях (увеличению трудности сообщения) и соответствующему росту транспортной утомляемости. В частности, на метрополитене примерно 50% затрат времени пассажиров в поездке приходится на пешеходное передвижение и ожидание транспорта при пересадках. Вследствие этого $v_{с.пр}$ примерно в два раза ниже скорости сообщения поездов, не считая затрат времени $2t_{ост}$ на подход к станциям метрополитена. Заметно уменьшается скорость $v_{с.пр}$ в часы пик из-за вынужденного снижения скорости пешеходного передвижения, очередей у касс, задержек у эскалаторов (на метрополитене) и т. д. Поэтому одним из основных требований к системам ГМПТ является обеспечение возможно более высокой беспересадочности.

Пересадочность в транспортных передвижениях (сетевых поездках) оценивают коэффициентом пересадочности $k_{пер}$, определяемым как отношение общего количества маршрутных поездок A_m населения за определенный расчетный период времени к общему количеству передвижений за то же время с использованием транспорта (сетевых поездок) A_c :

$$k_{пер} = A_m / A_c. \quad (3.52)$$

Очевидно, что в обычных транспортных системах $A_m > A_c$ и $k_{пер} > 1$. Фактическая пересадочность на ГПТ зависит от территориальных размеров и населенности города, его планировочной структуры, развития и удачности построения транспортной сети и маршрутной системы (соответствия выбора направлений маршрутов ожидаемым направлениям пассажиропотоков), принятых систем организации движения ГПТ. В настоящее время по данным обследований в СССР в городах V группы населенности с населением 50—100 тыс. человек коэффициент пересадочности составляет примерно 1,05 с колебаниями от 1 до 1,2, в городах III группы с населением от 250 до 500 тыс. человек — 1,15 с колебаниями от 1,1 до 1,2, в городах II группы с населением 500 тыс. — 1 млн. человек — примерно 1,25 с колебаниями от 1,15 до 1,3 и в городах I группы с населением более 1 млн. человек — примерно 1,3 с колебаниями от 1,2 до 1,4. Наибольшая пересадочность наблюдается в трудовых передвижениях, где она может достигать величины 1,5 и более. Столь высокая пересадочность указывает обычно на недостатки маршрутной системы и необходимость ее корректировки.

Рост пересадочности в крупнейших и крупных городах объясняется не только увеличением количества транспортных передвижений в связи с большими территориальными размерами города, но и соответствующим развитием транспортной сети. В небольших городах перевозки обслуживают обычно несколько маршрутов ГПТ, иногда один-два, а в крупных городах — десятки и сотни, что расширяет возможности населения пользоваться транспортом и повышает пересадочность.

§ 3.4. Основные количественные измерители пассажироперевозок

Основными количественными измерителями пассажироперевозок являются объем пассажироперевозок A , пассажиропоток F , объем транспортной работы (пассажирооборот) Q , средняя длина поездки $L_{\text{ср}}$, удельная годовая нагрузка транспортной сети пассажирами $\bar{A}_r$, удельный пассажирооборот $\bar{Q}$.

Пусть в результате, например, прямых натурных обследований пассажироперевозок на некоторой транспортной сети или маршруте определены количества A_{ij} корреспонденций (маршрутных поездок) между всеми ее остановочными пунктами отправления i и прибытия j за произвольный период наблюдения T . В обозначении A_{ij} первый из индексов i будем считать индексом пункта отправления, второй j — индексом пункта прибытия. Соответственно под A_{ij} будем понимать количество поездок из i в j за период наблюдения T , а под A_{ji} — количество поездок из j в i за то же время.

Объемом пассажироперевозок A называют количество пассажиров, перевезенных на маршруте, участке сети, на всей сети рассматриваемого вида ГПТ или на всех сетях ГПТ за единицу времени (час, сутки, месяц, квартал, год). Количество пассажиров, перевезенных за период наблюдения T , очевидно, равнозначно количеству выполненных за это время маршрутных поездок. Следовательно:

$$A = \sum_{i,j} A_{ij}/T = \sum_{i,j} A_{ji}/T. \quad (3.53)$$

Количество корреспонденций A_{ij} из i в j , очевидно, равно количеству посадок, совершенных в пункте i на направление j , или высадок в пункте j с направления i . Поэтому объем пассажироперевозок A (пасс/ч, пасс/сут., пасс/год и т. д.) может быть определен как сумма пассажиров, вошедших в транспортные средства в пунктах посадки ($A_{\text{вх}}$) или сошедших в пунктах высадки ($A_{\text{сх}}$) за единицу времени (час, сутки, месяц, квартал, год):

$$A = \sum_i A_{\text{вх}}/T = \sum_j A_{\text{сх}}/T. \quad (3.54)$$

В транспортных расчетах за единицу времени чаще всего принимают час, сутки или год.

*Объемом транспортной работы, или пассажирооборотом**, (пасс-км/ч, пасс-км/сут., пасс-км/год и т. д.) называют количество освоенных транспортом на маршруте, участке сети, на всей сети рассматриваемого вида ГПТ или на всех сетях ГПТ за единицу времени (час, сутки, месяц, квартал, год) пассажирокилометров или, иначе говоря, сумму длин всех пассажирокорреспонденций (поездок) за рассматриваемую единицу времени. Если l_{ij} — расстояние пассажирской корреспонденции A_{ij} по транспортной сети, то

* Термин «пассажирооборот» применительно к объему транспортной работы используют в железнодорожной практике и на метрополитене. В практике организации движения наземных видов ГМПТ обычно используют термины «транспортная работа» и «объем транспортной работы».

$$Q = \sum_{i,j} A_{ij} l_{ij} / T. \quad (3.55)$$

Особенностью измерителей A и Q пассажироперевозок является их обобщенный характер, отсутствие связи с конкретными точками транспортной сети, так как объем пассажироперевозок A и пассажирооборот Q определяется для всей транспортной сети, ее отдельного района, участка или маршрута. Для конкретных точек (сечений) транспортной сети они не имеют смысла, поэтому A и Q могут быть, например, одинаковыми для городских транспортных сетей, совершенно различных по протяженности, хотя условия пассажироперевозок на них по комфортабельности, затратам транспортного времени и другим показателям могут быть совершенно разными и, в частности, неудовлетворительными. Для характеристики напряженности пассажироперевозок в той или другой транспортной сети используют другие показатели, в частности удельные характеристики $\bar{A}_r$ и $\bar{Q}_r$.

Удельной годовой нагрузкой транспортной сети пассажирами $\bar{A}_r$ [пасс/(год·км)] называют отношение годового объема пассажироперевозок A (пасс/год) к длине транспортной сети L_c или, иначе говоря, годовой объем пассажироперевозок, приходящийся на 1 км длины транспортной сети:

$$\bar{A}_r = A_r / L_c. \quad (3.56)$$

В СССР удельная годовая нагрузка транспортных сетей пассажирами довольно высока и составляет по автобусной сети 180—190 тыс. пасс/(год·км), по трамваю — ≈ 1000 —1100 тыс. пасс/(год·км), по троллейбусу — 840 тыс. пасс/(год·км) и по метрополитену — 5—5,5 млн. пасс/(год·км). В перспективе удельная годовая нагрузка городских транспортных сетей в нашей стране будет существенно снижена, что повысит комфортабельность транспортного обслуживания городского населения.

Удельным пассажирооборотом $\bar{Q}_r$ [пасс-км/(год·км)] называют объем транспортной работы, приходящийся на 1 км длины транспортной сети L_c :

$$\bar{Q}_r = Q_r / L_c. \quad (3.57)$$

По СССР в перспективе на 1980 г. удельный пассажирооборот должен составлять по метрополитену ≈ 60 млн. пасс-км/(год·км), по трамваю — $\approx 5,5$ млн. пасс-км/(год·км) и по троллейбусу — $\approx 3,3$ млн. пасс-км/(год·км).

Специфической характеристикой пассажироперевозок, оценивающей их напряженность и направление в отдельных точках (сечениях) транспортной сети, является пассажиропоток F . Пассажиропотоком F называют напряженность потока пассажиров в сечениях транспортной сети за единицу времени (час, сутки, год) в том или другом направлении движения или количество пассажиров, перевезенных через поперечное сечение сети в заданном направлении (или обоих направлениях) в единицу времени. Очевидно, что во всех сечениях одного перегона транспортной сети пассажиропоток неизменен (так как в период езды по перегону ко-

личество пассажиров в поездах изменяться не может) и равен количеству пассажиров, перевозимых по нему в принятую единицу времени. Поэтому обычно имеют в виду не пассажиропоток в сечении сети, а пассажиропоток перегона или участка сети, во всех сечениях которых пассажиропоток одинаков. *Пассажиропоток перегона* — это количество пассажиров, проезжающих по перегону (правильнее говорить — в сечении перегона) в единицу времени; *пассажиропоток участка сети* — количество пассажиров, проезжающих соответственно по участку сети (в сечениях участка сети) в единицу времени. Нужно иметь в виду некоторую условность этих понятий (хотя их везде применяют в транспортных расчетах), так как по определению пассажиропоток относят к сечению, а не протяженному участку сети.

Важно также различать понятия пассажиропотока и объема пассажироперевозок, тем более, что единица измерения пассажиропотока по определению (количество пассажиров в единицу времени) совпадает с размерностью объема пассажироперевозок. Пассажиропоток и объем пассажироперевозок различны и по смыслу, и по числовым величинам.

Рассмотрим пример, приведенный на рис. 3.8. Здесь показан маршрут, разделенный остановочными пунктами 1—6 на пять перегонов 1—2, 2—3, 3—4 и т. д. Длина перегонов $l_{1-2} = 1,5$ км; $l_{2-3} = 1,0$ км; $l_{3-4} = 1,25$ км; $l_{4-5} = 1,85$ км; $l_{5-6} = 0,6$ км. Общая длина маршрута $l_m = \sum_{i=1}^5 l_i = 6,2$ км.

Для простоты расчета принято, что поездки из всех остановочных пунктов отправления i к остановочным пунктам прибытия j одинаковы и составляют 200 пасс/ч. Тогда количество пассажиров, вошедших в транспортные средства маршрута на остановочных пунктах отправления, соответственно будет: $A_{вх1} = 1000$ пасс/ч, $A_{вх2} = 800$ пасс/ч, $A_{вх3} = 600$ пасс/ч и т. д. Количество сошедших пассажиров на остановочных пунктах прибытия — $A_{сх1} = 0$, $A_{сх2} = 200$ пасс/ч, $A_{сх3} = 400$ пасс/ч и т. д.

Суммарное количество всех вошедших пассажиров $A_{вх}$ в пунктах отправления и сошедших $A_{сх}$ в пунктах прибытия одинаково $A_{вх} - A_{сх} = 3000$ пасс/ч. Следовательно, и объем пассажироперевозок маршрута $A = 3000$ пасс/ч. Пассажиропотоки на перегонах маршрута получены суммированием всех групп проезжающих по ним пассажиров: $F_{1-2} = A_{вх1} = 1000$ пасс/ч; $F_{2-3} = F_{1-2} + A_{вх2} - A_{сх2} = 1000 + 800 - 200 = 1600$ пасс/ч, $F_{3-4} = F_{2-3} + A_{вх3} - A_{сх3} = 1600 + 600 - 400 = 1800$ пасс/ч. и т. д. Средний пассажиропоток маршрута

$$F_{ср} = \sum_{s=1}^{s=n} F_s l_s / l_m, \quad (3.58)$$

где n — количество перегонов маршрута; l_s — длина s -го перегона; l_m — длина маршрута.

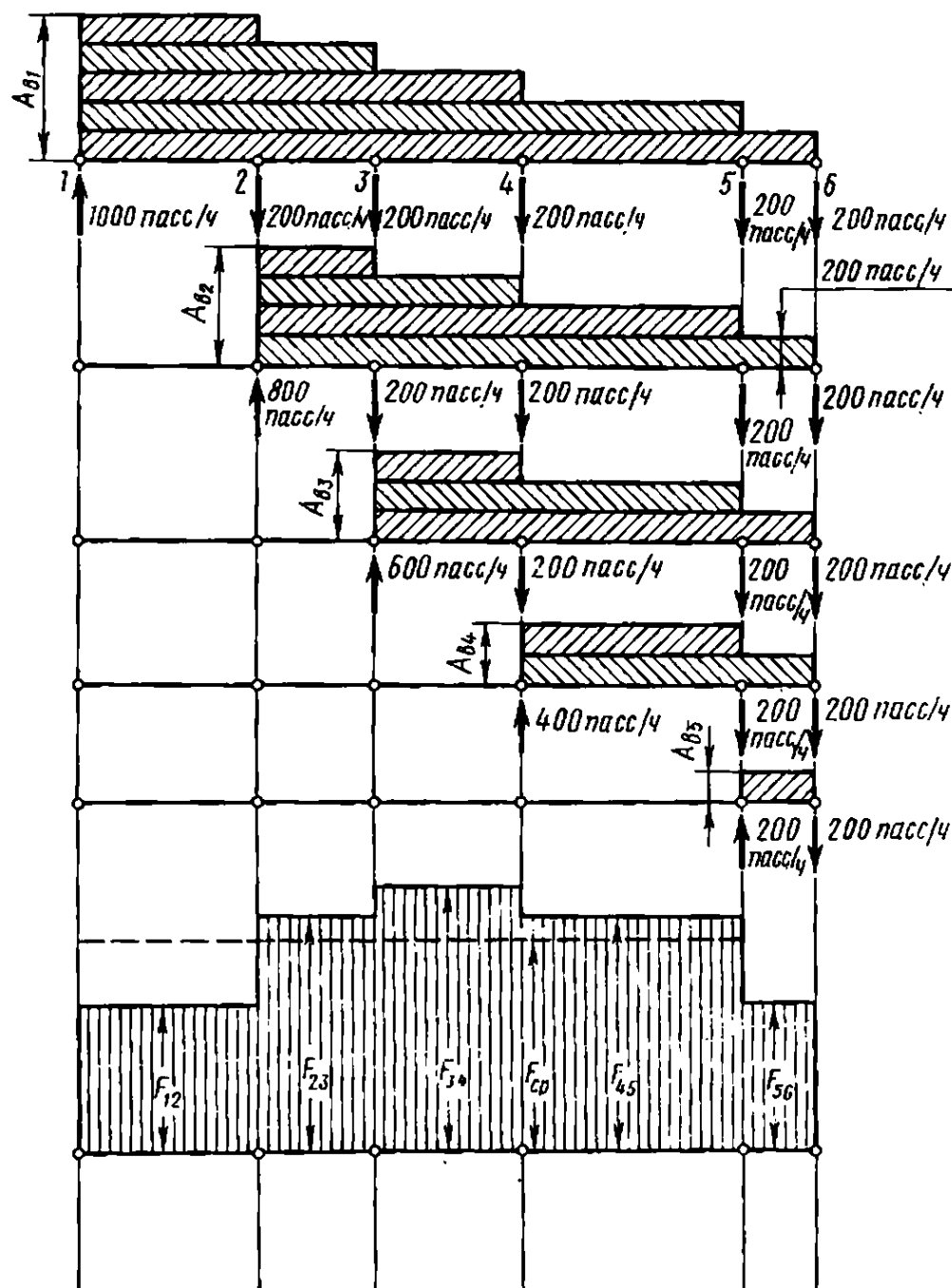
$$\text{Тогда } F_{ср} = \sum_{s=1}^{s=6} F_s l_s / l_m = (1000 \cdot 1,5 + 1600 \cdot 1,0 + 1800 \cdot 1,25 + 1600 \cdot 1,85 + 1000 \cdot 0,6) / 6,2 = 8910 / 6,2 = 1400 \text{ пасс-км} / (\text{ч} \cdot \text{км}).$$

Отметим, что за размерность пассажиропотока можно принять размерность пасс-км/(ч·км), чтобы можно было различать числовые величины объема пассажироперевозок и пассажиропотока.

Суммарный пассажирооборот маршрута можно определить двумя методами, дающими одинаковый результат: суммированием длин всех поездок маршрута по (3.55) или как сумму произведений пассажиропотоков всех n перегонов маршрута на их длину:

$$Q = \sum_{s=1}^{s=n} F_s l_s. \quad (3.59)$$

В данном примере по первому методу расчета получаем:



$A_{б}, \text{ пасс.}$	1000	800	600	400	200	0	3000
$A_{с}, \text{ пасс.}$	0	200	400	600	800	1000	3000
$L_n, \text{ км}$		1,5	1,0	1,25	1,85	0,6	6,2
$F, \frac{\text{пасс-км}}{\text{км-ч}}$		1000	1600	1800	1600	1000	—
$Q, \frac{\text{пасс-км}}{\text{ч}}$		1500	1800	2250	2960	600	8910

Рис. 3.8

Пример расчета характеристик пассажироперевозок маршрута

$$Q = \sum_{ij} A_{ij} l_{ij} / T = 200 \{ [1,5 + (1,5 + 1,0) + (1,5 + 1,0 + 1,25) + \\ + (1,5 + 1,0 + 1,25 + 1,85) + 6,2] + [1,0 + (1,0 + 1,25) + \\ + (1,0 + 1,25 + 1,85) + (1,0 + 1,25 + 1,85 + 0,6)] + [1,25 + (1,25 + 1,85) + \\ + (1,25 + 1,85 + 0,6)] + [1,85 + (1,85 + 0,6)] + 0,6 \} = 8910 \text{ пасс-км/ч.} \quad (3.60)$$

По второму методу расчета

$$Q = \sum_{s=1}^{s=n} F_s l_s = 1000 \cdot 1,5 + 1600 \cdot 1,0 + 1800 \cdot 1,25 + 1600 \cdot 1,85 + \\ + 1000 \cdot 0,6 = 8910 \text{ пасс-км/ч.} \quad (3.61)$$

Эти примеры расчета показывают, что определение пассажирооборота через пассажиропоток удобнее, так как связано с меньшим объемом расчетов. Кроме того, данные о пассажиропотоках бывают известны чаще, чем о распределении поездок по длине.

Средний удельный пассажирооборот рассматриваемого маршрута $\bar{Q} = Q/l_m = 8910/6,2 = 1440$ тыс. пасс-км/(ч·км) в точности совпадает с величиной среднего пассажиропотока F_{cp} . Это является следствием того, что понятия $\bar{Q}$ и F_{cp} — синонимы. Величину F_{cp} и соответственно $\bar{Q}$ обычно называют *удельным пассажиропотоком*, так как она определяет величину пассажиропотока, приходящего на 1 км длины маршрута или транспортной сети.

Весьма важной характеристикой перевозок является также *средняя длина поездки* L_{cp} , которую можно определить как среднее длин всех пассажирокорреспонденций на рассматриваемом маршруте или по сети в целом:

$$L_{cp} = \sum_{ij} l_{ij} / n, \quad (3.62)$$

где n — общее количество поездок (маршрутных или сетевых).

Однако расчет средней длины поездки по (3.62) трудоемок. Величину средней длины поездок можно определять из соотношения $Q = AL_{cp}$, откуда

$$L_{cp} = Q/A. \quad (3.63)$$

Для рассмотренного выше примера $L_{cp} = Q/A = 8910/3000 = 2,96$ км.

Из выражения (3.63) следует, что средняя длина поездок оказывает прямое влияние на показатели работы предприятий ГПТ: при том же объеме пассажироперевозок A и разной средней длине поездок L_{cp} объем транспортной работы предприятия (пассажирооборот) может быть существенно различным. Основные факторы, определяющие среднюю длину пассажиропоездки, — территориальные размеры города, трассировка транспортной сети, маршрутная система и планировочная структура города, т. е. взаимное размещение в нем жилых зон, промышленных районов (мест приложения труда) и культурно-бытовых центров. Средняя длина поездки растет с увеличением территориальных размеров города, поэтому в крупных городах, особенно при удлинённой планировке, она больше, чем в небольших. Повышает среднюю длину поездки неудачная трассировка транспортной сети и неправильный выбор маршрутной системы.

При смешанной планировке города, когда промышленные районы и культурно-бытовые центры равномерно распределены между жилыми

районами 2 (рис. 3.9, а), средняя длина поездки существенно меньше, чем в случае вынесения промышленных зон за пределы города, например, по санитарно-гигиеническим соображениям (рис. 3.9, б). В последнем случае при той же численности населения города будут больше и объем пассажироперевозок A и объем транспортной работы Q за счет увеличения доли населения, вынужденного пользоваться транспортом, в то время как в городах со смешанной планировкой значительная доля передвижений будет осуществляться пешком. Несмотря на меньший объем пассажироперевозок, экономические показатели работы предприятий ГПП в городах со смешанной планировкой могут быть существенно выше, чем в городах с выделенными промышленными зонами в связи с уменьшением удельной доли транспортной работы, приходящейся на одного пассажира.

Таким образом, распределение поездок по длине (дальности) определяется большим количеством факторов и поэтому имеет различный характер в каждом городе. По результатам натурного обследования пассажиропотоков выяснено, что средняя длина маршрутных поездок составляет 2—4 км и с увеличением территориальных размеров города возрастает незначительно. Общий вид кривой плотности распределения $f(l)$ поездок по дальности l в пределах длины маршрута l_m показан на рис. 3.10. Пунктирными линиями показана гистограмма, сплошной — теоретическая кривая распределения. Точка A определяет минимальную длину поездки, равную минимальной длине перегона l_n ; точка B — максимум кривой распределения, представляющий собой вероятную величину l_s длины поездок большинства пассажиров; $L_{cp} = \sum l_i f(l_i) / \sum f(l_i)$ — средняя длина поездки.

На рис. 3.11 приведены гистограммы распределения маршрутных поездок по дальности, построенные на основании данных натурных обследований соответственно троллейбусных (а) и автобусных (б) маршрутов.

Обычно среднюю длину поездки, как и трудность сообщения, выражают не в километрических, а во временных единицах, которые более приемлемы для транспортных расчетов. На рис. 3.11, в приведены временные кривые распределения по дальности передвижений населения Ленинграда по данным Всесоюзной переписи населения 1970 г. Здесь 1 — передвижения пешком (средняя дальность передвижения 12, 15 мин); 2 — передвижения на транспорте (средняя дальность передвижения

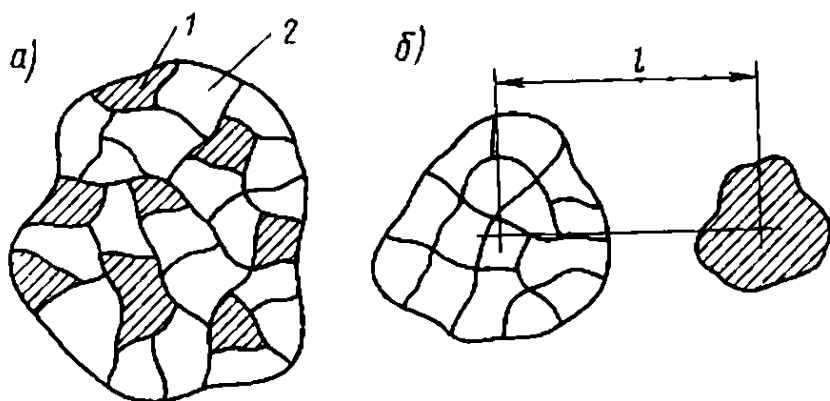


Рис. 3.9

Планировочная структура города при смешанной планировке (а) и при вынесении промышленных районов за городскую черту (б)

45,2 мин); 3 — суммарные передвижения (средняя дальность передвижения 37,7 мин).

Среднюю дальность (км) транспортных передвижений (сетевых поездок) определяют анкетными методами натурных обследований пассажироперевозок и расчетом по эмпирической формуле Зильберталя

$$L_{\text{ср}} = a + b \sqrt{F_{\text{сел}}}, \quad (3.64)$$

где $F_{\text{сел}}$ — селитебная площадь города, км²; $a = 1,3$ и $b = 0,3$ — коэффициенты, величины которых установлены в результате натурного обследования пассажироперевозок.

Кроме средней дальности передвижений в транспортных расчетах часто приходится ориентироваться на максимальную дальность передвижений $L_{\text{макс}}$, которую определяют по (3.64), но с другими значениями коэффициентов a и b . В настоящее время для расчета максимальной дальности сетевых поездок рекомендуют $a = 1,3$ и $b = 0,72$. Однако (3.64) дает удовлетворительные результаты расчета только для сравнительно небольших городов, в которых максимальная фактическая трудность сообщения меньше предельно допустимой $T_{\text{макс}}$. В больших городах средняя дальность сетевых поездок определяется главным образом не размерами территории, а скоростью сообщения v_c , обеспечиваемой ГПТ, поэтому (3.64) в этих условиях неприменима.

Средняя дальность пассажиропоездки $L_{\text{ср}}$ как показатель пассажироперевозок может характеризовать планировочную структуру города (удачность взаимного размещения жилых и промышленных районов, связей районов с городским центром), а также оценивать правильность организации маршрутной системы города и его отдельных районов. Систематическое повышение средней дальности передвижений связано, например, с массовым жилищным строительством и переселением тру-

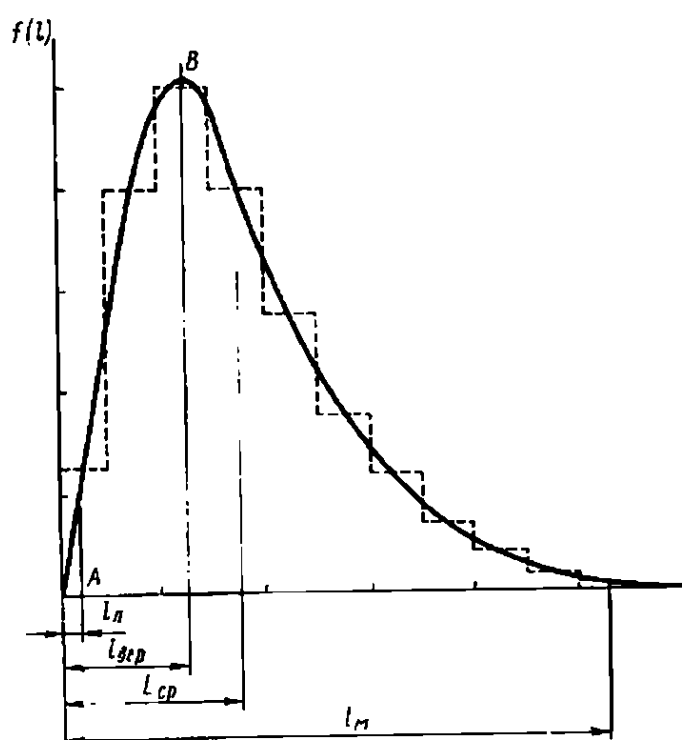


Рис. 3.10

Общий вид кривой распределения поездок по дальности передвижений

дящихся в новые районы, удаленные от мест приложения труда и общегородских центров тяготения населения.

Повышение средней дальности поездок может указывать на усиление тенденции превращения того или другого вида ГПТ в основной вид, а уменьшение ее — на усиление тенденции превращения его во вспомогательный подвозящий транспорт. Кроме того, показатель средней дальности поездки используют для определения объема транспортной работы [см. (3.63)] и других производственно-эксплуатационных показателей ГПТ, поэтому средняя дальность поездок — один из важных элементов исследования при натурных обследованиях пассажироперевозок.

Средняя дальность (км) внутрирайонных передвижений населения в пределах междомагистральных территорий (их осуществляют в основном пешком)

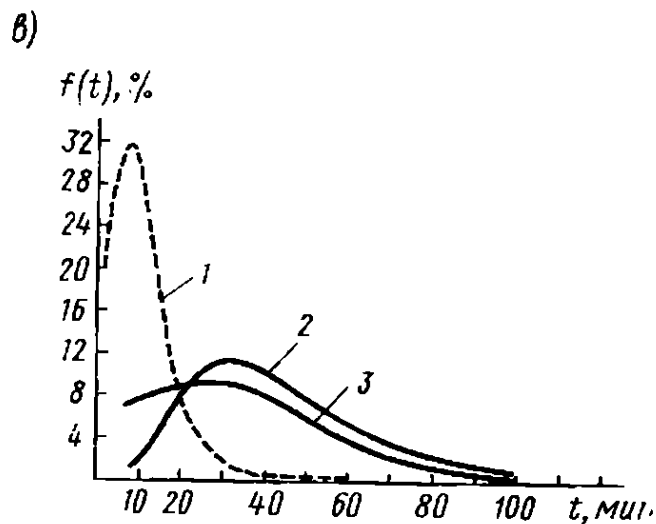
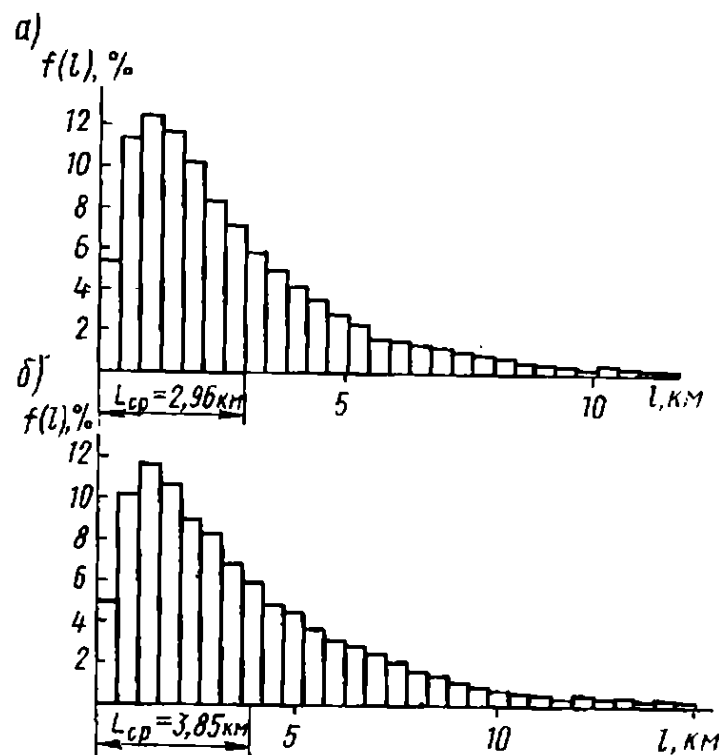
$$l_{ii} = 0,7 \sqrt{F_i}, \quad (3.65)$$

где F_i — селитебная площадь междомагистральной территории, км².

Выражение (3.65) можно получить, представляя селитебный район квадратом со стороной l и диагональю d (рис. 3.12). Полагая, что максимальная длина внутрирайонного передвижения равна диагонали d , а средняя — ее половине, получим:

$$F_i = l^2 = 0,5d^2;$$

$$l_{ii} = 0,5d = F_i / \sqrt{2} \approx 0,7 \sqrt{F_i}$$



§ 3.5. Картограмма пассажиропотоков и ее характеристики

Картограммой пассажиропотоков называют графическую схему распределения пассажиропотока по длине маршрутов или участков транспортной сети. В пределах перегонов пассажиропоток не изменяется. Поэтому картограмма пассажиропотоков имеет вид ступечатой кривой. Примеры картограмм часовых пассажиропотоков для направлений 1 и 2 одного из

Рис. 3.11

Кривые распределения поездок по дальности

реальных автобусных маршрутов в различные часы суток (рис. 3.13) показывают, что распределение пассажиропотоков может быть резко неравномерным по длине и направлению маршрутов и во времени.

Характер распределения пассажиропотока по маршрутам или участкам транспортной сети влияет на использование вместимости обслуживающего их подвижного состава и уровень удобств транспортного сервиса, предоставляемого пассажирам. Поэтому картограмма пассажиропотоков — документ, который используется при организации маршрутов (выборе маршрутной системы), при расчете количества подвижного состава, необходимого для обслуживания пассажироперевозок маршрутов, и в процессе организации движения для оперативного регулирования распределения подвижного состава по участкам и направлениям маршрутов в соответствии с ожидаемыми или фактическими пассажиропотоками. Максимальное выравнивание картограмм пассажиропотоков проводят для обеспечения максимального соответствия между объемом пассажироперевозок и количеством предоставляемых для их обслуживания пассажиромест или оптимального использования вместимости подвижного состава по критериям максимума транспортного комфорта при минимуме себестоимости пассажироперевозок для транспортных предприятий. При этом стремятся создавать маршруты с равномерным пассажиропотоком по длине, в пределе изображаемым прямоугольной так называемой *полной картограммой*. При оперативном регулировании движения на маршрутах по характеру картограмм пассажиропотоков решают задачу распределения подвижного состава по маршруту к началу расчетного периода движения, которое обеспечивало бы максимально равномерное наполнение поездов на всех участках и направлениях.

Для упрощения анализа картограммы пассажиропотоков приводят к простой геометрической форме — в общем случае трапеции с основанием, равным длине участка (маршрута), и высотой, равной расчетному пассажиропотоку, по которому определяют количество подвижного состава, требующееся для освоения заданных пассажироперевозок. Критерий приведения — равенство площадей $S_{кр}$ преобразованной и $S_{ф}$ фактической (заданной) картограмм, которые выражают собой (с учетом масштабов) объем транспортной работы рассматриваемого маршрута или участка сети [см. (3.59)]:

$$S_{кр} = S_{ф} = \sum_{s=1}^{s-n} F_s l_s = Q. \quad (3.66)$$

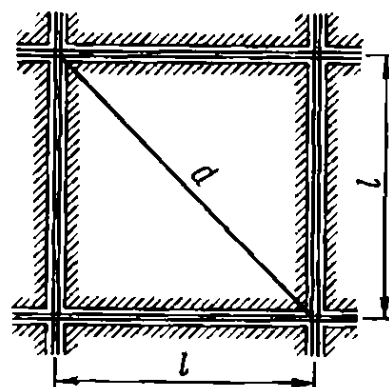


Рис. 3.12

Схема межмагистральной территории при квадратной транспортной сетке

Основные характеристики картограмм — максимальный, средний и эквивалентный пассажиропотоки (рис. 3.13, б).

Максимальным называют пассажиропоток $F_{\max}$ наиболее загруженного перегона или группы перегонов маршрута (участка сети). При преобразовании по максимальному пассажиропотоку фактическая картограмма заменяется расчетной с высотой $F_{\max}$:

$$S_{кр} = 0,5 F_{\max} (a_{\max} + l_m) = Q, \quad (3.67)$$

где левая часть уравнения — площадь равновеликой трапеции; $a_{\max}$ — длина ее верхнего основания.

Тогда из (3.67)

$$a_{\max} = 2Q/F_{\max} - l_m. \quad (3.68)$$

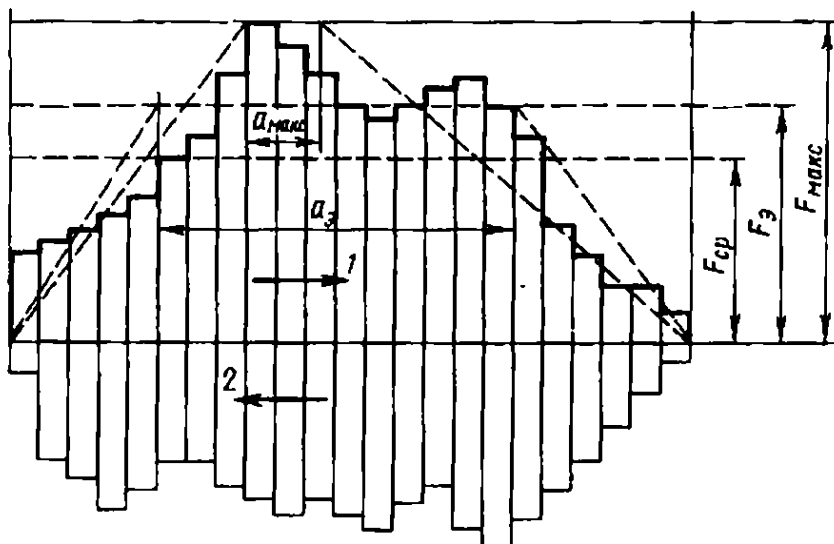
При преобразовании картограмм верхнее основание $a_{\max}$ размещают так, чтобы обеспечить возможно более близкое совпадение преобразованной картограммы с фактической.

Для оценки использования вместимости подвижного состава маршрутов и участков транспортной сети вводят понятие *коэффициента*

а)



б)



в)

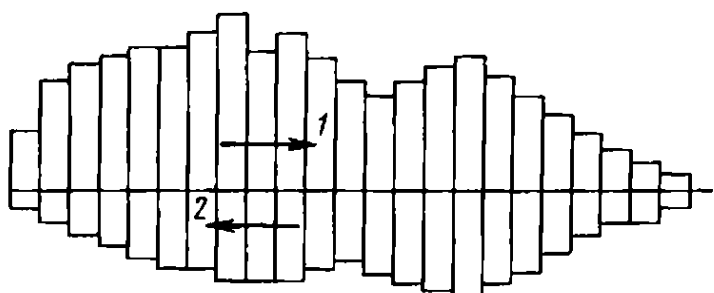


Рис. 3.13

Картограммы пассажиропотоков одного из автобусных маршрутов Ленинграда:

а — с 6 до 7 ч; б — с 8 до 9 ч,
в — с 9 до 10 ч

заполнения картограммы пассажиропотоков $k_{з.к}$, представляющего собой отношение площадей фактической картограммы к полной, имеющей ту же величину пассажиропотока:

$$k_{з.к} = S_{\phi}/S_{\text{полн}} = Q/(F_{\text{расч}} l_{\text{м}}), \quad (3.69)$$

где $F_{\text{расч}}$ — соответствующий расчетный пассажиропоток.

При расчете количества подвижного состава по $F_{\text{макс}}$ фактическая картограмма заменяется полной с высотой $F_{\text{макс}}$. Коэффициент ее заполнения

$$k_{з.к} = Q/(F_{\text{макс}} l_{\text{м}}). \quad (3.70)$$

В примере, представленном на рис. 3.13, б, $k_{з.к} = 0,55$. Соответствие фактического наполнения подвижного состава расчетному наблюдается в этом случае только на одном или группе перегонов, а на остальных оно будет меньше расчетного.

Средним называют пассажиропоток $F_{\text{ср}}$, определяемый по (3.58). При замене фактической картограммы расчетной с пассажиропотоком $F_{\text{ср}}$ последняя представляет собой полную картограмму с $k_{з.к} = 1$. Однако по $F_{\text{р}}$ количество подвижного состава не рассчитывают, так как соответствие фактического наполнения подвижного состава расчетному и в этом случае будет наблюдаться только на отдельных участках маршрута, но зато переполнение поездов на наиболее нагруженных участках может оказаться совершенно недопустимым и неконтролируемым.

Сравнение расчетных картограмм, построенных по $F_{\text{макс}}$ и $F_{\text{ср}}$ с фактическими показывает, что они отличаются друг от друга весьма значительно. Исходя из этого была обоснована методика расчета подвижного состава маршрутов по эквивалентному пассажиропотоку, подбираемому так, чтобы обеспечить нормальные условия проезда по наполнению большинству пассажиров. На основании анализа картограмм А. Х. Зильберталеом было предложено для определения эквивалентного пассажиропотока следующее выражение:

$$F_{\text{э}} = \sqrt[m]{F_{\text{с}}^m l_{\text{с}}/l_{\text{м}}}, \quad (3.71)$$

где $m = 4 \div 5$ — эмпирический коэффициент.

При преобразовании по $F_{\text{э}}$ фактическая картограмма замещается расчетной трапециевидной с верхним основанием, определяемым анало-

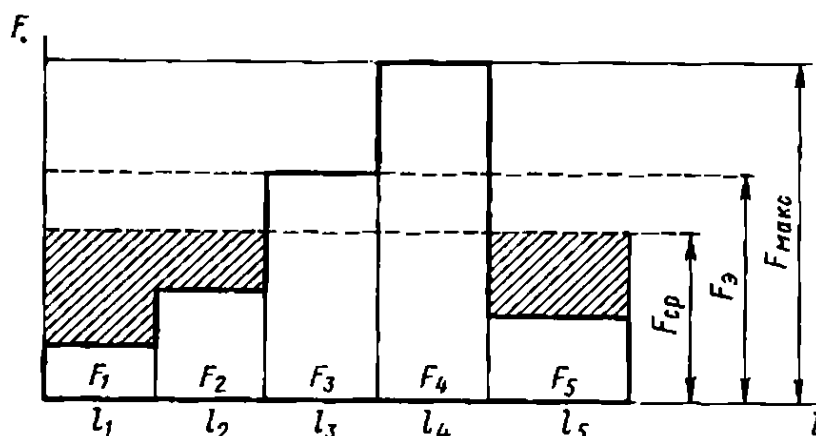


Рис. 3.14

Расчет эквивалентного пассажиропотока по методу ленинградского трамвая

гично (3.68):

$$a_s = 2Q/F_s - l_m. \quad (3.72)$$

На рис. 3.13, б показано, что $F_{\max} > F_s > F_{\text{ср}}$, а расчетная картограмма, построенная по F_s , наиболее близко совпадает с фактической. Вследствие затруднений расчета по (3.71) предложены и другие методы, в частности расчет эквивалентного пассажиропотока по методу ленинградского трамвая, иллюстрируемый рис. 3.14. Этот расчет проводят за три операции:

1. Находят средний пассажиропоток участка или маршрута:

$$F_{\text{ср}} = \sum F_s l_s / l_m = (F_1 l_1 + F_2 l_2 + F_3 l_3 + F_4 l_4 + F_5 l_5) / (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5).$$

2. Дополняют фактический пассажиропоток до среднего на перегонах или участках, где он меньше полученного среднего. В нашем примере это необходимо сделать на участках l_1 , l_2 и l_5 .

3. Определяют средний пассажиропоток преобразованной таким образом картограммы и принимают его равным эквивалентному пассажиропотоку маршрута:

$$F_s = [F_{\text{ср}} (l_1 + l_2 + l_5) + F_3 l_3 + F_4 l_4] / (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5).$$

Рассмотрим основные типы расчетных картограмм пассажиропотоков. Трапециевидная картограмма (рис. 3.15, а) характерна для диаметральных маршрутов, соединяющих периферийные точки города через его центр. Концевые участки этих маршрутов имеют сравнительно небольшие пассажиропотоки, постепенно нарастающие при приближении к центру, частным случаем может быть треугольная (рис. 3.15, б) картограмма. Для подвозящих и развозящих маршрутов, соединяющих

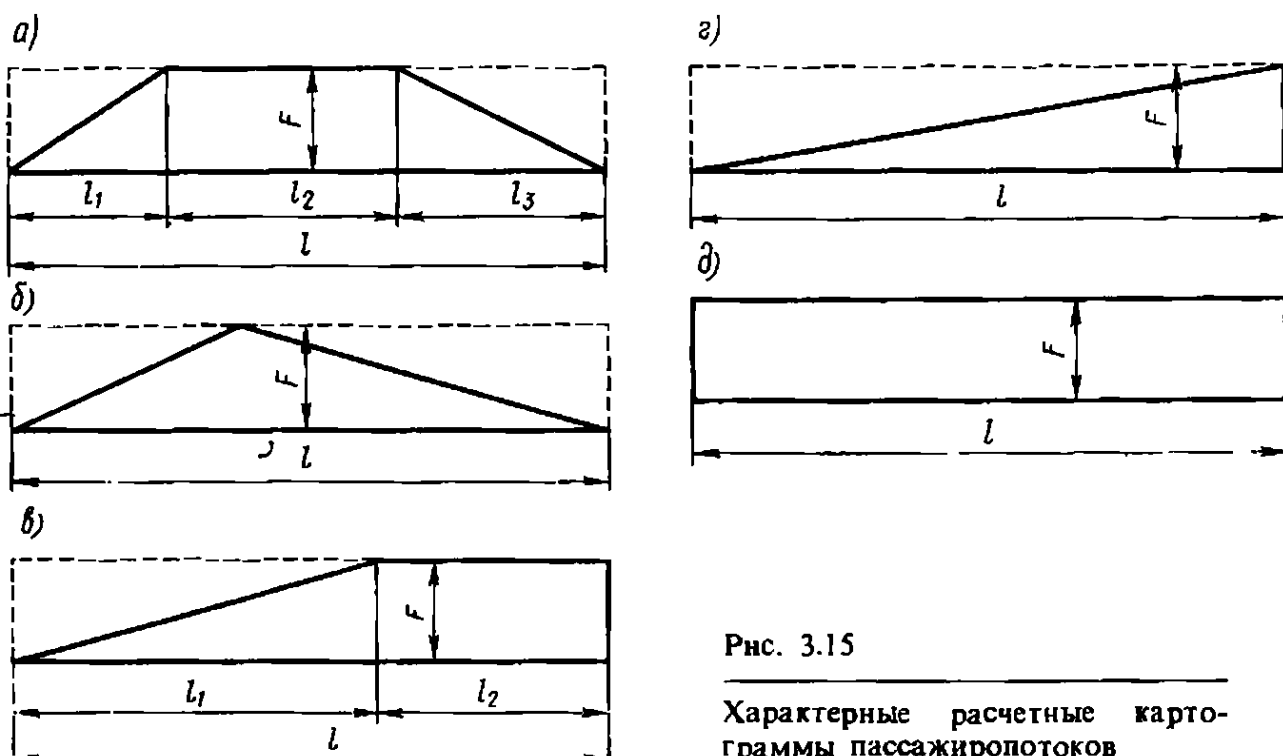


Рис. 3.15

Характерные расчетные картограммы пассажиропотоков

мощные пассажирообразующие пункты с районами жилой застройки, характерны картограммы пассажиропотоков, имеющие вид прямоугольной трапеции (рис. 3.15, в), частным случаем может быть треугольная картограмма (рис. 3.15, з). Наконец, на рис. 3.15, д показана полная картограмма с равномерным пассажиропотоком, к которой нужно стремиться при создании маршрутов.

Коэффициент заполнения для трапецевидной расчетной картограммы (рис. 3.15, а)

$$k_{3.к} = (0,5l_1F + l_2F + 0,5l_3F)/(lF) = \\ = [0,5(l_1 + l_3) + l_2]/l; \quad (3.73)$$

для треугольных картограмм (рис. 3.15, б)

$$k_{3.к} = 0,5;$$

для картограммы, имеющей вид прямоугольной трапеции (рис. 3.15, в):

$$k_{3.к} = (0,5l_1F + l_2F)/(lF) = (0,5l_1 + l_2)/l; \quad (3.74)$$

для полной картограммы (рис. 3.15, д)

$$k_{3.к} = 1.$$

Г л а в а 4

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ВИДОВ ГМТТ

§ 4.1. Обычные (традиционные) и новые виды ГПТ

Обычными, или *традиционными*, называют виды ГПТ, имеющие установившиеся конструктивные решения подвижного состава и путевых устройств, а также методы организации движения и обеспечивающие в заданных условиях места и времени основную массу пассажироперевозок. *Новыми* называют виды ГПТ, характеризующиеся качественно новыми, отличными от обычных, решениями тех или других устройств (подвижного состава, путей) или организацией движения и не имеющие в рассматриваемый период существенной доли в общем объеме пассажироперевозок.

Понятия обычных и новых видов ГПТ исторически относительны. В начале XIX в., когда единственной тяговой силой была лошадь, появление 10—20-местных дилижансов, омнибусов и линеек на конной тяге означало появление новых видов городского транспорта по сравнению с традиционной каретой. В середине XIX в. наметились признаки первого в истории транспортного кризиса больших городов, новым прогрессивным видом ГПТ стали конки. На смену им пришла паровая, а вскоре и электрическая тяга.

В начале своего развития метрополитены, трамваи, троллейбусы (ГЭТ) были новыми видами ГПТ. Затем техника их непрерывно совершенствовалась, ГЭТ получил массовое развитие, из нового стал обычным и в настоящее время, начиная примерно с 40-х годов, в ряде стран вытесняется автомобилем с двигателем внутреннего сгорания. Автомобили, появившиеся еще в конце XIX в., были в то время новым видом транспорта. Сейчас мировой автомобильный парк превышает 200 млн. единиц.

К обычным видам ГПТ относят автомобиль, автобус, троллейбус, трамвай и метрополитен. Монорельсовые дороги считают новым видом ГПТ, но, например, для города Вупперталя (ФРГ) этот вид ГПТ является обычным, так как монорельсовая дорога работает в нем с 1901 г. Поэтому виды ГПТ, обычные в одних условиях места и времени даже в пределах одной страны, могут быть новыми для других условий. К новым видам ГПТ относят также непрерывный пассажирский транспорт (движущиеся тротуары, системы капсульного пассажирообмена и др.), автоматические транспортные системы типа PRT (Personal Rapid Transit), бесколесный подвижной состав на воздушной подушке и с магнитной подвеской, трубопроводный пассажирский транспорт и др.

§ 4.2. Критерии сравнительной оценки видов ГПТ

Вследствие большого разнообразия сторон деятельности предприятий ГПТ и различной зависимости их от социально-экономических, градостроительных, демографических и других условий, создать единый критерий сравнительной оценки различных видов ГПТ довольно сложно. Их сравнивают по комплексу технико-экономических и эксплуатационных критериев. Экономическими критериями сравнения являются общие и удельные капитальные затраты и эксплуатационные расходы по транспортному хозяйству, срок окупаемости затрат, себестоимость пассажироперевозок, а основными эксплуатационными — скорость сообщения, пропускная и провозная способности, маневренность, степень загромождения улиц, уровень транспортного загрязнения воздушной среды и шумообразование.

Основные экономические показатели сравнения различных видов ГПТ — удельные капитальные затраты и эксплуатационные расходы в расчете на 1 км длины транспортной сети (руб/км), на один предоставляемый пассажирам место-км [руб/(место-км)], на единицу транспортной работы [руб/(пасс-км)]. Удельные капиталовложения K_l (руб/км) на 1 км длины транспортной сети L_c складываются из постоянных капиталовложений $K_{\text{пост}}$ (руб/км), не зависящих от объема пассажироперевозок, и переменных $K_{\text{пер}}$ (руб/поезд), зависящих от объема пассажироперевозок:

$$K_l = K_{\text{пост}} + K_{\text{пер}} n_l, \quad (4.1)$$

где

$$n_l = N_{\text{дв}} / L_c \quad (4.2)$$

— плотность движения на транспортной сети в поездах на 1 км длины транспортной сети; $N_{\text{дв}}$ — выпуск подвижного состава на линию (ко-

личество подвижного состава в движении); L_c — длина транспортной сети.

К постоянным капиталовложениям $K_{\text{пост}}$ относят затраты на прокладку путепроводов метрополитена, в рельсовую и контактную сеть, дорожную сеть автобуса и троллейбуса; к переменным капиталовложениям $K_{\text{пер}}$ — капиталовложения в подвижной состав, тяговые подстанции, кабельные питающие и отсасывающие сети, депо, гаражи и мастерские (см. § 13.1).

Количество предоставляемых пассажирам пассажиро-мест на 1 км длины транспортной сети (мест/км)

$$N_{\text{мест}} = n_i m_{\text{расч}} \quad (4.3)$$

где $m_{\text{расч}}$ — расчетная вместимость единицы подвижного состава.

Удельные капиталовложения [руб/(место-км)] на одно предоставляемое пассажирам пассажиро-место на 1 км длины транспортной сети

$$K_{\text{мест}} = K_{\text{пост}}/N_{\text{мест}} + K_{\text{пер}} n_{\text{дв}}/N_{\text{мест}} \quad (4.4)$$

Удельные капиталовложения в расчете на единицу транспортной работы предприятия

$$K_Q = K_{\text{пост}}/\bar{Q} + K_{\text{пер}} n_i/\bar{Q}, \quad (4.5)$$

где $\bar{Q}$ — относительный объем транспортной работы предприятия (удельный пассажирооборот) [см (3.57)].

Срок окупаемости затрат

$$T = K_{\Sigma}/(D - \mathcal{E}), \quad (4.6)$$

где K_{Σ} — единовременные суммарные капитальные затраты на организацию транспортного хозяйства; D — годовая выручка от его эксплуатации, руб.; $\mathcal{E}$ — годовые эксплуатационные расходы по хозяйству (затраты на заработную плату всем работникам, на приобретение материалов, электроэнергию или топливо, воду, газ, отчисления в бюджет, в фонд материального стимулирования и др.), руб.

По действующим нормам нормативный срок окупаемости затрат для предприятий ГПТ не должен превышать 10 лет ($T_n \leq 10$ лет). Однако использование (4.6) практически затрудняется тем, что в величине D должен быть учтен весь народнохозяйственный эффект от работы ГПТ (методики определения которого в настоящее время не имеется), а не только денежная выручка от продажи билетов. С учетом только денежной выручки транспортные хозяйства ГПТ в большинстве случаев оказываются нерентабельными: их расходы превышают доходы ($\mathcal{E} > D$). Показатель срока окупаемости затрат в этих условиях теряет смысл. Хотя и может использоваться для экономического сравнения вариантов транспортных систем.

Себестоимость одного пассажиро-километра транспортной работы [коп (пасс · км)].

$$S = \mathcal{E}_Q + 100 K_{\Sigma} \varepsilon_n / Q, \quad (4.7)$$

где $\mathcal{E}_0$ — приведенные эксплуатационные расходы предприятия, коп/(пасс · км); $\varepsilon_n = 1/T_n$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; Q — ожидаемый расчетный или фактический объем транспортной работы предприятия, пасс-км/г.

Провозной способностью B транспортной линии или полосы движения называют максимальное количество пассажиров, которое может быть перевезено через ее поперечное сечение в том или другом направлении в единицу времени с учетом ограничений по пропускной способности:

$$B = \Pi m_{\text{расч}}, \quad (4.8)$$

где $m_{\text{расч}}$ — максимальная расчетная вместимость поездов, обслуживающих пассажироперевозки.

Фактическая провозная способность меньше теоретической, определяемой по (4.8), вследствие неизбежной неравномерности распределения пассажиропотоков во времени и неполного использования вместимости поездов, на которое оказывают влияние такие факторы, как планировка пассажирских салонов, ширина дверей, неравномерное наполнение разных вагонов в поезде. С учетом этого фактическая провозная способность

$$B_{\text{ф}} = \Pi N_{\text{п}} m_{\text{расч}} / (k_{\text{в}} k_{\text{ч}}), \quad (4.9)$$

где $N_{\text{п}}$ — количество вагонов в поезде; $k_{\text{в}}$ — коэффициент неравномерности наполнения вагонов в поезде на лимитирующем перегоне, т. е. перегоне, где наблюдается максимальное наполнение поездов; $k_{\text{ч}}$ — коэффициент внутрисуточной неравномерности наполнения поездов.

Коэффициент $k_{\text{в}}$ определяют как отношение фактического наполнения наиболее заполненного вагона поезда $m_{\text{ф. макс}}$ к среднему наполнению $m_{\text{ср. п}}$ вагонов поезда, а коэффициент $k_{\text{ч}}$ — как отношение максимального фактического за пятнадцатиминутный интервал наполнения вагонов поезда $m_{\text{ф. 15 макс}}$, к среднечасовому фактическому наполнению $m_{\text{ф. ср. ч}}$ вагонов поезда:

$$k_{\text{в}} = m_{\text{ф. макс}} / m_{\text{ср. п}}, \quad k_{\text{ч}} = m_{\text{ф. (15) макс}} / m_{\text{ф. ср. ч}}. \quad (4.10)$$

По данным обследований пассажироперевозок на Московском метрополитене при шестивагонных поездах $k_{\text{в}} = 1,18 \div 1,64$ и $k_{\text{ч}} = 1,06 \div 1,40$.

§ 4.3. Метрополитен

Метрополитен — рельсовый вид ГПТ с обособленным путевым устройством тоннельного, наземного или эстакадного исполнения. В настоящее время линии метрополитенов прокладывают преимущественно в подземном уровне, так как в наземном исполнении они нарушают другие транспортные связи города и загромождают городскую территорию.

Подземная трассировка линий определяет высокий уровень капитальных затрат на метрополитене, основная доля которых приходится на тоннели. Стоимость прокладки линий метрополитена составляет примерно 10—18 млн. руб/км одиночного пути, т. е. в 100 раз превышает стоимость прокладки двухколейного трамвайного пути современной

конструкции. При прокладке линий метрополитена в тунелях глубокого заложения площадь выработки растет пропорционально квадрату диаметра тунеля. Хотя стоимость туннеля растет медленнее, чем диаметр его поперечного сечения, тем не менее по строительным затратам очевидна экономическая выгода туннелей малого сечения. Но малые габариты туннелей заставляют применять малогабаритный подвижной состав с ограниченной провозной способностью, поэтому габариты туннелей метрополитенов в разных странах приняты с учетом ожидаемых пассажиропотоков разными, включая и габариты рамных туннелей мелкого заложения.

Габариты линий мелкого и глубокого заложения метрополитенов Москвы, Нью-Йорка, Лондона, Парижа и некоторых других городов показаны на рис. 4.1. В соответствии с принятыми габаритами туннелей различают три класса метрополитенов:

1. Метрополитены с железнодорожным габаритом подвижного состава (в Нью-Йорке, Лондоне на сети мелкого заложения). Основное преимущество этих метрополитенов — возможность прямой беспересадочной связи линий городских и пригородных железных дорог.

2. Метрополитены с нормальным габаритом подвижного состава (меньшим железнодорожного): шириной 2,4—2,7 м, высотой 3,4—3,7 м и длиной 16—19 м. К таким метрополитенам относятся Московский, Парижский и др. Подвижной состав отечественных метрополитенов имеет габаритную длину 18,77 м, ширину 2,7 м, высоту 3,795 м и базу 12,6 м.

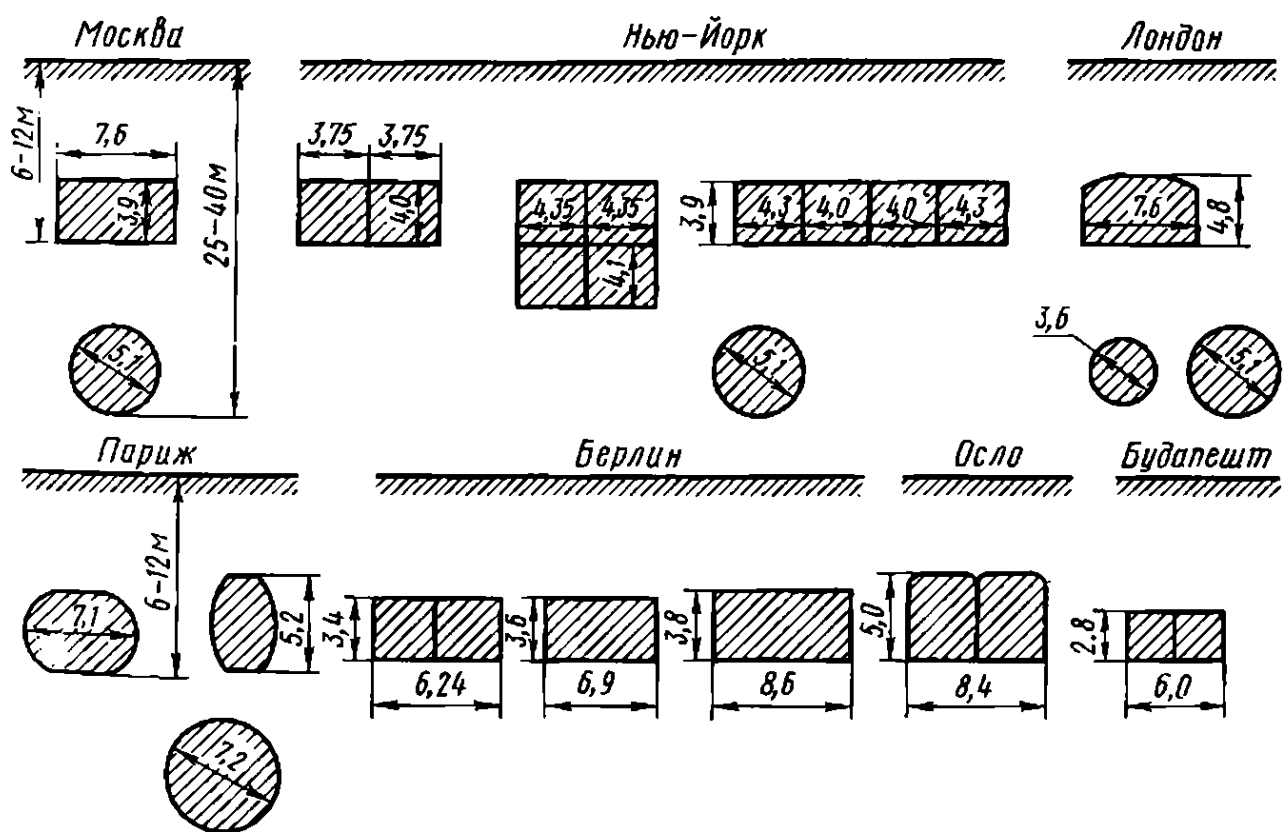


Рис. 4.1

Габариты линий метрополитенов мелкого и глубокого заложения

3. Метрополитены с трамвайными габаритами подвижного состава (мини-метрополитены). Такие метрополитены часто называют подземным или скоростным трамваем, в особенности если их трасса проходит и в подземном и в наземном уровнях. В настоящее время они получают широкое распространение.

В связи с прямой экономической выгодой возможно более полного использования габарита тоннелей требования к точности габаритов на метрополитенах значительно выше, чем на трамvae и других видах наземного ГПТ.

Габариты подвижного состава отечественных метрополитенов определены ГОСТ 18226—72 «Вагоны метрополитена. Основные параметры и технические требования» и СНиП II-Д.3—68 Госстроя СССР. Строительство метрополитенов требует значительного времени. Их тоннели рассчитаны на эксплуатацию до 500 лет, маневренность транспортной сетью практически исключается. Однако мобильность градостроительства, развитие городов во времени от этого практически не страдают. Линии метрополитенов оказывают глубокое градообразующее влияние на окружающую застройку и в то же время при подземной трассировке не загромождают улиц и не мешают застройке.

Эксплуатационные расходы на метрополитенах значительны, что определяется главным образом необходимостью постоянного наблюдения за протечками грунтовых вод. Количество точек протечки грунтовых вод на новых линиях метрополитенов может достигать до 1000—1500 на 1 км пути. Большие эксплуатационные расходы связаны также с обслуживанием станций, эскалаторов и переходов между станциями.

В связи с высокой стоимостью станций, а также по соображениям повышения скоростей сообщения подвижного состава перегоны на линиях метрополитенов принимают 1—2,5 км — примерно в 2—3 раза большими, чем на линиях наземного ГПТ*. При таких перегонах реализуются скорости сообщения подвижного состава до 35—40 км/ч.

Требования безопасности движения на метрополитенах выше, чем для наземного ГПТ вследствие особой опасности наездов в тоннелях и весьма ограниченной видимости пути. Максимальную безопасность движения обеспечивает трассировка линий метрополитена с пересечениями в разных уровнях, принятая в Москве, Париже и других городах, но она исключает маневренность маршрутной системы и затрудняет пересадку пассажиров, которая связана с большими затратами времени на переходы между станциями и внутри них. С учетом этого реальная скорость сообщения пассажиров метрополитена примерно вдвое ниже по сравнению со скоростью сообщения подвижного состава, а при поездках на короткие расстояния не превышает иногда 10—15 км/ч, т. е. даже ниже, чем при использовании наземного ГПТ. Поэтому метрополитен используется пассажирами в основном как скоростной вид транспорта при поездках на большие расстояния. В метрополитенах, например,

* В соответствии с рекомендациями СНиП II-60—75 п. 8.15 расстояния между ОП для автобуса, троллейбуса и трамвая не должны превышать 600 м, для экспресс-автобуса, троллейбуса и трамвая — 800—1200 м, для метрополитена — 1200—1500 м и для электрифицированных железных дорог в черте города — 1500—2000 м.

Нью-Йорка, Лондона и некоторых других городов линии трассированы частично с пересечениями в разных уровнях и частично в одном, что позволяет создавать маршрутные системы, подобные трамвайным. Однако это снижает условия безопасности движения поездов и приводит к увеличению времени ожидания их на станциях.

По экономическим соображениям метрополитены используют в качестве основных скоростных транспортных систем в столичных и крупнейших городах I и II групп с населением не менее 500 тыс. человек, а линии их прокладывают по наиболее пассажиронапряженным направлениям с устойчивым пассажиропотоком не менее 25—30 тыс. пасс/ч в одном направлении движения. Экономическая плотность транспортной сети вследствие больших капитальных затрат в тоннели сравнительно невелика и не превышает 0,5 км/км² селитебной территории города.

При прогнозировании развития метрополитенов в СССР исходят из потребности в них во всех городах с населением более 1 млн. человек (СНиП II-60—75, п. 8.13). По имеющимся прогнозам к 1980 г. таких городов-миллионеров будет в нашей стране 17—18.

В настоящее время проектируются и строятся метрополитены в Минске, Горьком, Куйбышеве, Свердловске, Новосибирске, Ереване.

Подвижной состав метрополитенов по конструкции и основным узлам оборудования, за исключением более жестких габаритных ограничений и требований надежности, близок к подвижному составу трамвая. Вагоны проектируют, как правило, четырехосными на двух двухосных поворотных тележках или шарнирно-сочлененными. Внутреннюю планировку, а также количество и расположение дверей выбирают с учетом сравнительно короткого времени пребывания пассажиров в подвижном составе и требований ускорения пассажирообмена в целях сокращения времени стоянок на станциях. В связи с большим пассажирообменом на станциях, в 2—4 раза превышающим пассажирообмен подвижного состава трамвая, вагоны метрополитена выполняют с большим количеством дверей, продольным расположением сидений, широкими проходами и большими накопительными площадками у дверей. Специализация дверей на вход и выход пассажиров, требующая переходов пассажиров внутри вагонов, обычно отсутствует. Общая ширина дверей составляет около 0,4 длины вагонов против приблизительно 0,2 у вагонов трамвая. Для ускорения и облегчения пассажирообмена уровень пола вагонов метрополитена располагают на уровне посадочных платформ.

Оборот подвижного состава метрополитенов с целью экономии площадей производят обычно на тупиковых путях без оборотных колец, поэтому вагоны имеют двустороннее управление и двустороннее симметричное расположение дверей.

Энерговооруженность вагонов (мощность тяговых двигателей в расчете на единицу массы вагона без пассажиров) составляет 8—15 кВт/т, т. е. соизмерима с энерговооруженностью трамвайных вагонов. Тот же порядок цифр имеют и динамические показатели подвижного состава (за исключением более высокой скорости): среднее пусковое ускорение и замедление при служебном торможении 0,9—1,5 м/с², замедление при экстренном торможении 1,0—2,5 м/с², максимальная скорость движения

70—90 км/ч. Некоторые типы вагонов метрополитена, как и современные трамвайные, оборудованы рельсовыми тормозами, но большинство имеют электрический и механический с пневматическим или электропневматическим приводом. Основные параметры и технические требования к подвижному составу метрополитенов СССР установлены ГОСТ 18226—72 «Вагоны метрополитена. Основные параметры и технические требования». Им определены его габаритные размеры, весовые и динамические показатели, конструктивная скорость, плавность хода и др.

Современный подвижной состав метрополитенов имеет, как правило, групповую автоматическую систему управления ТЭД, обеспечивающую управление всеми вагонами поезда по «системе многих единиц» из кабины машиниста головного вагона от одного контроллера управления. Для управления пуско-тормозными режимами обычно используют системы реостатного регулирования. В последнее время на подвижном составе метрополитенов и наземного ГПТ (трамвая и троллейбуса) внедряют бесконтактные тиристорно-импульсные системы управления, обеспечивающие снижение до 30% расхода электрической энергии на движение, повышенную плавность пуска и торможения и эксплуатационную надежность. Снижению расхода электрической энергии на движение и облегчению динамического режима работы поездов метрополитена способствует также специальная трассировка пути в профиле на перегонах между станциями. Особенность метрополитенов по сравнению с наземным ГМПТ — использование железнодорожных систем автоблокировки, так как система организации движения по принципу прямой видимости транспортной обстановки, принятая на наземном ГПТ, для метрополитенов неприемлема. Автоблокировка обеспечивает необходимую безопасность движения при достаточно высокой частоте движения поездов.

Вследствие сравнительной легкости автоматизации управления движением подвижного состава, обусловленной отсутствием помех движению, на метрополитенах в настоящее время широко применяют системы автомашиниста — управление и оптимизацию режимов движения поездов с использованием электронных вычислительных машин (ЭВМ). Впервые в мире система автомашиниста была осуществлена и испытана в 1957—1958 гг. в СССР. В настоящее время различные варианты автомашиниста внедрены и внедряются на Московском, Ленинградском, Парижском, Стокгольмском и других метрополитенах.

Одним из главных преимуществ метрополитенов перед другими традиционными видами ГПТ, кроме сравнительно высокой скорости сообщения подвижного состава, является высокая провозная способность, определяемая большой вместимостью поездов и сравнительно высокой частотой движения. При интервале 1,5 мин (40 поездов/ч в одном направлении движения), вместимости вагона 170 пасс.* и 8-вагонном поезде теоретическая провозная способность линии метрополитена составляет $40 \cdot 170 \cdot 8 = 54\,400$ пасс/ч. Минимальный интервал движения на линиях

* Соответствует расчетному наполнению 5 чел/м² площади пола пассажирского салона для стоящих пассажиров.

отечественных метрополитенов в часы пик составляет около 90 с, а частота 28—40 поездов в час. В настоящее время ведутся большие работы по повышению пропускной и провозной способности наиболее загруженных линий за счет разработки и внедрения систем автомашиниста, автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) и автоблокировки, оснащения метрополитенов новым подвижным составом с улучшенными характеристиками, разработки и внедрения автоматизированных систем управления (АСУ) метрополитена.

§ 4.4. Трамвай

Трамвай — уличный рельсовый вид транспорта с общим или обособленным путевым полотном в основном наземного исполнения. Отличается большими затратами в путевые сооружения (стоимость 1 км двойного рельсового пути трамвая составляет около 100—160 тыс. руб.). Вследствие связи с рельсовой колеей подвижной состав трамвая характеризуется нулевой маневренностью; лишенный возможности движения из-за повреждения ходовых частей или по другим причинам он закрывает движение на линии для других трамваев, образуя их скопления — пробки. Поэтому к подвижному составу трамвая предъявляют более высокие требования надежности по сравнению с троллейбусами и автобусами.

Основными типами перспективных трамвайных поездов в настоящее время считают четырехосные вагоны большой вместимости для одиночной работы и в поездах по системе многих единиц, а также сочлененные — шестиосные с двумя кузовными секциями на трех двухосных поворотных тележках и восьмиосные с тремя кузовными секциями на четырех двухосных поворотных тележках.

Требования к конструкции отечественных трамвайных вагонов определяют ГОСТ 8802—69 «Вагоны трамвайные пассажирские. Технические требования» и Правила технической эксплуатации трамвая (ПТЭ). Оптимальные геометрические характеристики трамвайных вагонов (форма кузова в плане, габаритная длина, ширина и высота, база вагона и отношение базы к длине) зависят от вписывания в кривые минимального радиуса с минимальным коридором на стесненных уличных проездах, устойчивости при движении, удобства планировки пассажирского салона, комфортабельности и др.

Минимальные радиусы кривых на эксплуатационных путях трамвая достигают 20 м, ширина трамвайных вагонов не превышает 2,6 м, их длина с жестким кузовом — 15—15,5 м. Вместимость трамвайных поездов ниже по сравнению с поездами метрополитенов. Провозная способность одиночных вагонов трамвая составляет 7—9 тыс. пасс/ч, двухвагонных поездов и шарнирно-сочлененных вагонов — 10—15 тыс. пасс/ч; 100-местные одиночные трамвайные вагоны при минимальном интервале между поездами около 40 с (пропускной способности $\Pi = 3600/40 = 90$ поездов/ч) способны обеспечить провозную способность $B = 90 \times 100 = 9000$ пасс/ч (в одном направлении движения). По экономическим соображениям трамвайные линии прокладывают на направлениях с пас-

сажиропотоком не менее 3,5—4,5 тыс. пасс/ч в одном направлении движения*.

Обычный трамвай характеризуется низкими скоростями сообщения и эксплуатационной, создает помехи движению автотранспорта на перекрестках и задержки у остановочных пунктов при нешироких улицах, усиливает шум. Трамвайные пути и контактная сеть портят вид города. По этим причинам его выносят из городских центров на окраины городов, а в ряде городов мира сняли. В настоящее время трамвай развивается на новой основе — как скоростной трамвай, отличающийся от обычного почти полным отделением от остального городского движения на обособленном пути. Скоростной трамвай рассматривают теперь как новый вид ГПТ, хотя по своим конструктивным особенностям он близок к обычному, разница состоит лишь в том, что линии скоростного трамвая прокладывают в перегруженных центрах городов под землей, а в остальных местах на эстакадах или на огражденном обособленном полотне с пересечениями преимущественно в разных уровнях. Это позволяет упорядочить движение трамвая, ликвидировать мешающее влияние на него остального уличного движения и повысить скорость сообщения. С этой же целью на линиях скоростного трамвая предусматривают большие перегоны: в центре до 700—800 м; на окраинах и вылетных линиях до 1200—1500 м. Это позволяет поднять эксплуатационную скорость скоростного трамвая до 25—30 км/ч, т. е. примерно вдвое по сравнению с обычным, эксплуатационная скорость которого составляет 16—18 км/ч.

При использовании подвижного состава большой вместимости (шарнирно-сочлененных и четырехосных вагонов, работающих поездами из двух-трех вагонов по системе многих единиц) провозная способность скоростного трамвая может достигать 25 тыс. пасс/ч в одном направлении, т. е. примерно вдвое превышать провозную способность линий обычного трамвая. Преимущество скоростного трамвая — возможность существенного снижения транспортного времени пассажиров, значительного расширения зоны транспортной обслуженности населения при заданной СНиП норме затрат транспортного времени и повышения скорости пассажирообмена в поездах, что способствует улучшению экономических показателей работы транспортных предприятий.

Скоростной трамвай перспективен как скоростной вид транспорта в больших городах с населением более 250 тыс. человек на направлениях с пассажиропотоком до 25 тыс. пасс/ч (в одном направлении) для связи городских центров с местами массового тяготения населения. В этих условиях он имеет преимущества перед метрополитеном вследствие меньшей стоимости сооружений при высокой провозной способности. При достаточно развитой маршрутной системе трамвай обеспечивает более удобные условия проезда пассажирам вследствие уменьшения пересадочности и более высокой скорости сообщения в передвижениях, особенно на короткие расстояния.

* Следует заметить, что при таких пассажиропотоках более целесообразно использовать троллейбус. Как основной вид транспорта трамвай целесообразно применять на направлениях с пассажиропотоком до 12 тыс. пасс/ч.

В СССР трамвай имеет большие перспективы развития. Более 100 городов имеют трамвайные хозяйства, парк подвижного состава которых насчитывает более 20 тыс. вагонов. В 1980 г. протяженность трамвайных путей в однопутном исчислении составит около 14 тыс. км, из них до 800 км скоростного трамвая, а потребность в парке подвижного состава достигнет примерно 40 тыс. вагонов. В настоящее время линии скоростного трамвая проектируют и сооружают в Риге, Ленинграде, Киеве, Волгограде, Перми, Саратове и других городах. Основные направления развития трамваев в СССР на будущее — внедрение современных конструкций подвижного состава с тиристорно-импульсными системами управления, обеспечение высокой эксплуатационной экономичности, динамических и эстетико-технических показателей, пониженных уровней шумов, реконструкция путевого хозяйства и внедрение более совершенных конструкций путевых устройств, разработка и внедрение АСУ контроля и регулирования движения.

§ 4.5. Автобус

Автобус — безрельсовый уличный вид транспорта с автономным энергоснабжением. Энергия, необходимая для движения автобусов, вырабатывается из запасов горючего (бензин, нефть, дизельное или твердое топливо), которые вместе с силовой установкой находятся на автобусе. Это определяет автономность автобусов, их высокую маневренность и в то же время пониженные весовые характеристики. Автобусы не требуют сооружения специальных путевых устройств, их движение, как и троллейбусов, организуют по обычному дорожному полотну городских улиц. В связи с этим автобус требует небольших затрат в транспортную сеть, которые ограничиваются по существу капиталовложениями на сооружение станций заправки, конечных станций маршрутов и устройства остановочных пунктов. Высокая маневренность автобуса обеспечивает возможность легкого изменения его транспортной сети и маршрутной системы в соответствии с сезонным, недельным и даже суточным колебанием пассажиропотоков. Поэтому автобусы обслуживают районы новой жилой застройки. Автобусы легко направлять с маршрута на маршрут в соответствии с изменением пассажиропотоков. Это преимущество широко используют для организации пассажироперевозок в районах, где заблаговременно не подготовлен троллейбус или трамвай. Автобус находит широкое применение для городских пассажироперевозок мелких городов как основной вид транспорта на маршрутах со сравнительно небольшими пассажиропотоками и крупных городов — как вспомогательный на подвозящих и развозящих маршрутах. В СССР автобусное обслуживание имеют около 2000 городов, подвижной состав которых превышает 60 тыс. машин. В США, Англии, Франции и других странах системы МПТ организуют в ряде случаев исключительно на базе автобусов.

Главные недостатки автобусов с двигателями внутреннего сгорания — загрязнение атмосферы продуктами сгорания автомобильных топлив, сравнительно низкая провозная способность и высокие уровни шума. Дефицитность нефтепродуктов («черного золота») влияет на

увеличение себестоимости автобусных перевозок и направления их конструктивного развития. Провозная способность автобусов ниже провозной способности трамвая. Перспективным считают освоение автобусом пассажиропотоков до 6—8 тыс. пасс/ч (в одном направлении движения), которые при минимально допустимом интервале движения в 1 мин (интенсивности движения 60 машин/ч) требуют использования автобусов особо большой вместимости до 100—140 пассажиров. Обычные автобусы большой вместимости (70—80 пасс-мест при нормальном наполнении) осваивают при максимальной частоте движения 60 поездов/ч пассажиропоток до 4,2—4,8 тыс. пасс/ч (в одном направлении движения), средней (40—50 мест) — 2,4—3,0 тыс. пасс/ч, малой (25—30 мест) — 1,5—1,8 тыс. пасс/ч и особо малой вместимости (10—12 мест) до 0,6—0,7 тыс. пасс/ч (в одном направлении движения).

В СССР предусмотрен значительный рост автобусных пассажиро-перевозок особенно для городов с населением менее 250 тыс. жителей. Можно ожидать, что к 1980 г. потребность городов в автобусах достигнет 240 тыс. единиц. Производство автобусов в нашей стране было начато только в 1929—1930 г., когда Ярославским и Московским автозаводами был выпущен первый 19-местный советский автобус ЗИС-8 на базе грузового автомобиля ЗИС-5; в настоящее время оно превышает 30 тыс. машин в год. Среди них 9-местный микроавтобус РАФ-977Д «Латвия», получивший широкое применение в качестве маршрутного такси, малый автобус ПАЗ-652Б общей вместимостью 42 пассажира (23 места для сидения), средние автобусы ЗИЛ-158В, ЛАЗ-695Е и ЛАЗ-695Ж общей вместимостью 62 пассажира (32 места для сидения), большие автобусы ЛИАЗ-677 общей вместимостью до 110 пассажиров (при 25 местах для сидения) и др. В некоторых городах СССР эксплуатируются шарнирно-сочлененные автобусы, например «Икарус» венгерского производства. На 1980 г. автобусный парк СССР пополнят автобусы особо малой вместимости (10—12 пассажиров) — их удельный вес в перевозках пассажиров составит около 7%, малой (на 25—30 пассажиров) — 32%, средней (40—50 мест) — 25%, большой (70—80 мест) и особо большой (100—180 мест) — 36%. В автобусном парке городов с населением более 100 тыс. жителей автобусы большой и особо большой вместимости будут составлять 46%, средней — 21%, малой — 24—25% и особо малой — около 8—9%. Автобусы особо большой вместимости могут использоваться на направлениях с пассажиропотоком до 16 тыс. пасс/ч (в одном направлении).

Основные проблемы отечественного автобусостроения в настоящее время: повышение конструктивного уровня отечественных автобусов, их комфортабельности, технико-эксплуатационных качеств и надежности (особенно в зимнее время), снижение токсичности.

Различают автобусы одноэтажные (наиболее часто применяемые), полутора- и двухэтажные (их используют в Англии и некоторых других странах с целью повышения провозной способности при ограниченной пропускной способности городских улиц для уменьшения удельной нормы площади, занимаемой пассажирами на проезжей части). Последние более громоздки, уступают одноэтажным по комфортабельности и менее устойчивы, но экономичнее одноэтажных благодаря более высокой

вместимости и, следовательно, объему пассажироперевозок в расчете на одного водителя.

Шарнирно-сочлененные автобусы большой и особо большой вместимости с различным количеством осей и кузовных секций, как и двухэтажные, характеризуются высокими экономическими показателями, обусловленными большой вместимостью и объемом пассажироперевозок в расчете на одного водителя, но более громоздки и менее подвижны по сравнению с одиночными, в большей мере загромождают улицы и имеют поэтому более низкую скорость сообщения. В условиях интенсивного уличного движения положительные качества сочлененных автобусов могут быть реализованы лишь при выделении для них обособленных полос. Если выполнить это не представляет возможным, то правильнее использовать не сочлененные, а двухэтажные или полутрехэтажные автобусы, которые менее громоздки.

§ 4.6. Троллейбус

Троллейбус — безрельсовый уличный вид транспорта. В отличие от автобуса он связан с трассой контактной сетью централизованного электроснабжения, которое дает троллейбусу перед автобусами ряд преимуществ:

взамен остродефицитного и дорогого жидкого топлива троллейбусы расходуют электрическую энергию, вырабатываемую на гидроэлектростанциях и тепловых электрических станциях при сжигании низкосортных топлив (низкосортного каменного угля, торфа, сланцев);

воздушный бассейн городов не загрязняют продукты сгорания автомобильных топлив, троллейбусы более бесшумны; тяговые электродвигатели надежнее в эксплуатации и требуют меньшего ухода по сравнению с двигателями внутреннего сгорания;

отличаются более высокими динамическими характеристиками и удельными весовыми показателями, так как могут отбирать от контактной сети практически любую мощность и не перевозят на себе запас топлива; продолжительным сроком службы и более низкой себестоимостью пассажирских перевозок.

Но с наличием контактной сети связаны не только преимущества, но и недостатки троллейбусного транспорта: контактная сеть загромождаёт улицы и площади городов, ухудшает их вид; связь с контактной сетью уменьшает маневренность троллейбусов. Правда, затраты в контактную и кабельную сеть сравнительно невелики: около 18 тыс. руб. на 1 км сети — меньше стоимости одного троллейбуса большой вместимости шарнирно-сочлененного типа. Поэтому изменение маршрутной системы троллейбуса не требует больших капиталовложений, но оно требует времени, значительно большего, чем для автобуса; организация троллейбусного хозяйства требует больших капиталовложений в связи с необходимостью сооружения подстанций и тяговой сети; конструктивные недостатки токосъема снижают скорость движения троллейбусов на спецчастях контактной сети (пересечениях и стрелках), что приводит к снижению пропускной способности перекрестков и повышению отрицательного влияния троллейбуса на остальное городское движение.

Вследствие более высоких динамических показателей и практически неограниченных возможностей получения электрической энергии от контактной сети, троллейбусы проектируют с более высокой вместимостью, чем автобусы, в расчете на более высокую провозную способность. Практически используют троллейбусы большой и особо большой вместимости. Провозная способность в зависимости от вместимости составляет от 4 до 8,5 тыс. пасс/ч (в одном направлении) для троллейбусов с одиночным жестким кузовом и до 10—12 тыс. пасс/ч для шарнирно-сочлененных. Перспективным считают освоение троллейбусом пассажиропотоков порядка 6—9 тыс. пасс/ч. По экономическим соображениям прокладка линий троллейбуса оправдывается при пассажиропотоках не ниже 2—2,5 тыс. пасс/ч. В основном троллейбус используют в городах с населением более 250 тыс. жителей как основной вид транспорта и вспомогательный на подвозящих и развозящих маршрутах.

В СССР троллейбус имеет устойчивые перспективы развития. Первые троллейбусы в нашей стране были созданы Московским автозаводом, заводом «Динамо» им. С. М. Кирова и Сокольническим вагоно-ремонтным заводом (СВаРЗ) в 1933 г. Сейчас троллейбусные хозяйства имеют около 150 городов, их парк насчитывает более 21 тыс. машин. Намечается значительный рост троллейбусного транспорта. К 1980 г. пассажироперевозки потребуют увеличения протяженности контактной сети троллейбусов до 17 000 км (сейчас она составляет около 12 000 км) одиночного пути и подвижного состава примерно до 30 тыс. единиц.

В настоящее время проблема токосъема — основная проблема развития троллейбусов, но помимо этого большое внимание уделяют повышению их комфортабельности, внедрению тиристорно-импульсного управления, пневматической подвески, гидроусилителей рулевого управления и других усовершенствований.

Глава 5

ТРАНСПОРТНЫЕ СЕТИ ГПТ

§ 5.1. Типовые схемы городских транспортных сетей

Транспортной сетью называют совокупность транспортных связей, по которым осуществляются городские пассажирские и грузовые перевозки. *Городскую транспортную сеть* образует совокупность улиц и транспортных проездов, обслуживаемых различными видами ГТ, а также подземные, наземные и надземные транспортные линии, связанные с уличной сетью лишь частично или не связанные с ней (сети метрополитенов, монорельсовые дороги, городские скоростные железные дороги, эстакадные автомагистрали и др.).

Определяющая особенность сетей ГТ — их неразрывная связь с обслуживаемым ими городом, его населенностью, застройкой, рельефом местности, климатическими условиями и др. Транспортная сеть (ТС) — это некоторая функция планировочных, социально-экономиче-

ских, демографических, климатических и всего комплекса других характеристик города (Γ):

$$TC = f(\Gamma). \quad (5.1)$$

Зависимость (5.1) математически не выражена. Это обуславливает возможность проектирования городских транспортных сетей в основном методом попыток, что вызывает недостаточную доказательность принимаемых решений. Тесная связь между характеристиками ТС и обслуживаемого ими города, выражаемая (5.1), определяет присущую городским ТС индивидуальность: существенные различия в принципах построения, в условиях эксплуатации ТС городов разных групп и даже одной группы населенности. Этим определяется необходимость систематического изучения и обследования пассажироперевозок различных ТС и их постоянной индивидуальной оптимизации, которые осуществляют службы движения и другие службы хозяйств ГПТ.

Много особенностей ТС современных городов связано с путями их исторического развития. Часть из них перешла из предыдущих эпох с другими требованиями к транспортному обслуживанию населения и нерегулируемой застройкой городов. Города, создаваемые в настоящее время, проектируют из расчета комплексного решения градостроительных и транспортных задач с учетом перспективы развития и роста городского населения. Транспортные сети новых городов планируют так, чтобы обеспечить наиболее удобные и кратчайшие связи всех районов города между собой и с внешней транспортной сетью железных дорог, водных путей и воздушного транспорта. В соответствии с этим современные строительные нормы и правила (СНиП) предусматривают районирование городов и четкую классификацию транспортных связей по назначению и характеристикам. По транспортному назначению и расчетным скоростям движения городские улицы и дороги подразделяют по категориям на скоростные дороги; магистральные улицы и дороги общегородского значения (включающие улицы непрерывного движения — УНД и регулируемого движения — УРД); районного значения и дороги грузового движения; улицы и дороги местного значения (жилые улицы, дороги промышленных и коммунально-складских районов, пешеходные улицы и дороги, транспортные проезды в микрорайонах). Движение ГПТ организуют на дорогах трех категорий: скоростных, магистральных общегородского и районного значений.

Транспортные сети требуют больших капитальных затрат. В связи с этим они представляют наиболее консервативный элемент систем ГТ и отличаются низкой маневренностью, поэтому проектирование ТС требует точного прогнозирования на длительный период. В настоящее время оно производится в соответствии с нормами СНиП II-60—75 часть II, гл. 60 «Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов» [35], которые определяют требования к их плану и профилю, видимости в плане и профиле, пересечениям, конструкции дорожных одежд, инженерным сооружениям, освещенности и др.

Основные требования, предъявляемые к городским транспортным сетям: согласованность с величиной пассажиро- и грузопотоков по

пропускной способности; оптимальность по критериям минимума пробега подвижного состава во взаимных корреспонденциях транспортных районов и затрат транспортного времени населения в пассажиропоездках (включая затраты времени на подход к транспортным линиям); минимальная строительная стоимость; минимум дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и связанных с ними потерь в стоимостном выражении.

Наиболее характерные черты современного периода проектирования и использования городских транспортных сетей: специализация городских улиц и транспортных дорог по назначению и видам движения с целью повышения однородности транспортного потока как одного из условий максимального повышения использования транспортных магистралей; специализация с той же целью отдельных полос движения транспортных магистралей; системный подход к решению городских транспортных сетей в вопросах увязки и взаимного резервирования сетей всех видов ГПТ в единую транспортную систему, включая связи города с пригородной зоной и междугородными транспортными линиями групповой системы расселения; максимальное исключение конфликтных точек (мест возможных столкновений транспортных средств и задержек движения) за счет устройства пересечений в разных уровнях с целью сокращения задержек транспорта, ДТП и повышения пропускной способности транспортных магистралей; развитие городских скоростных дорог, обеспечивающих минимальные ограничения скоростей подвижного состава.

Основные факторы, определяющие структуру ТС, — правильное планировочное решение и технико-экономическое обоснование. При проектировании и развитии ТС в городах старой застройки определяющее значение имеет градостроительная часть (транспортные сети проектируют с учетом максимального использования существующих уличных проездов и обеспечения возможно более высоких технико-экономических показателей работы ТС при минимальных затратах на снос зданий и сооружений). При проектировании новых городов определяющее зна-

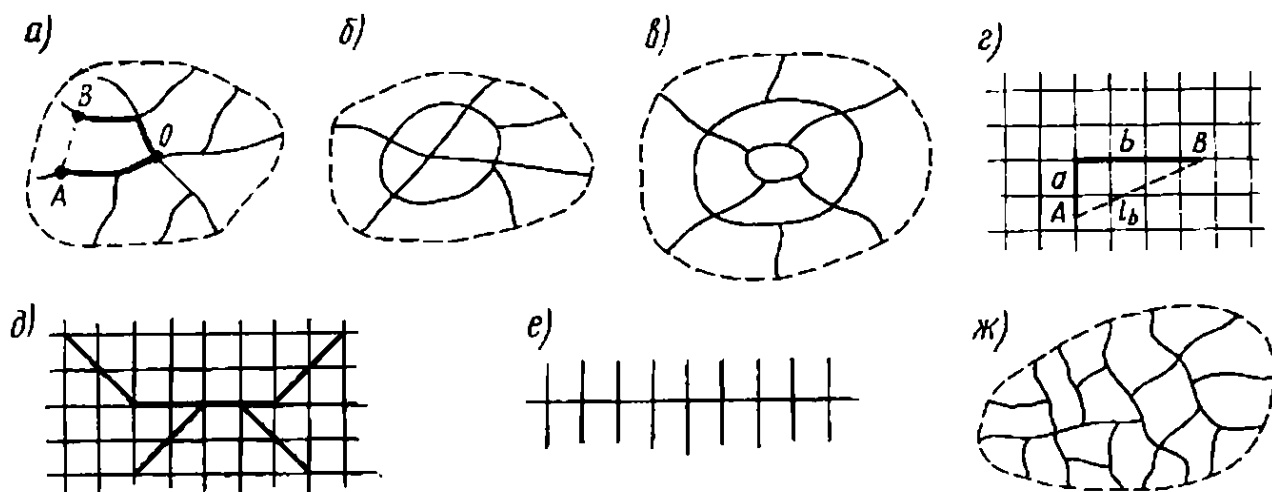


Рис. 5.1

чение придают проектированию их транспортных схем, в соответствии с которыми намечают и план застройки.

По конфигурации различают четыре типовые схемы городских транспортных сетей (ГТС): радиальную, радиально-кольцевую, прямоугольную и свободную.

Радиальная (лучевая) схема ТС. Эта схема (рис. 5.1, а) характерна для старых городов, развитие которых начиналось на пересечениях дорог. Она обеспечивает кратчайшую связь периферийных районов и пригородов с городским центром O , но затрудняет сообщение между периферийными районами. Например, из точки A в точку B можно проехать только через центр города по пути AOB . Коэффициент непрямолинейности этой поездки $k_{\text{нп}} = l_{AOB} / l_{AB} \gg 1$ (l_{AB} — расстояние между точками A и B по «воздушной» прямой), что не обеспечивает минимальной затраты транспортного времени населения в поездках и увеличивает неоплачиваемую транспортную работу. Большинство поездок при радиальной схеме транспортной сети осуществляется в центр или через центр, что приводит к его большой перегрузке. Поэтому в чистом виде радиальные схемы ТС сохранились только в городах с небольшими транспортными потоками.

Радиально-кольцевая схема ТС. Радиально-кольцевая схема ТС (рис. 5.1, б) является развитием радиальной схемы. Такую ТС (с одним или двумя кольцами) имеют Москва, Казань, Лион и другие города. Радиально-кольцевая сеть обеспечивает удобную связь и периферийных районов с центром по радиальным направлениям, и периферийных районов между собой по кольцевым направлениям. Коэффициент непрямолинейности поездок в ней значительно меньше, что способствует одновременно и снижению затрат транспортного времени населения в поездках, и улучшению экономических показателей работы транспортных предприятий за счет уменьшения средней длины поездок и ускорения пассажирообмена в поездах. Однако радиальные направления в радиально-кольцевых транспортных сетях остаются загруженными больше кольцевых, что опять-таки связано с перегрузкой центра. Ее можно ликвидировать, если снять все или часть транспортных линий в центре (рис. 5.1, в). В этом случае радиальные линии, как говорят, «заглушаются» на кольцо, в результате чего обеспечивается обход транзитного пассажиропотока вокруг центра.

Прямоугольная схема ТС. Эта схема ТС (рис. 5.1, г) характерна для таких городов, как Ленинград, Волгоград, Свердловск, Нью-Йорк, Чикаго, Вашингтон и др. Все эти города развивались по заранее разработанным планам. Особенности прямоугольной схемы ТС — отсутствие четко выраженного центра, что снимает вопрос о его транспортной перегрузке; хорошее согласование с принципами застройки городов и удобство для сквозного движения. Ее недостаток состоит в том, что она не обеспечивает кратчайших прямолинейных связей между диагональными пунктами A и B города. Коэффициент непрямолинейности поездок в этой транспортной сети может достигать $\sqrt{2} = 1,41$:

$$k_{\text{нп}} = (a + b) / l_{AB} = (a + b) / \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1 \leq k_{\text{нп}} \leq 1,41). \quad (5.2)$$

Разновидностями прямоугольной схемы ТС являются прямоугольно-диагональная (рис. 5.1, д) и прямоугольно-линейная (рис. 5.1, е). В прямоугольно-диагональной схеме диагонали проводят между важнейшими пассажирообразующими районами (жилыми и промышленными зонами, вокзалами и др.). Диагонали обеспечивают кратчайшую транспортную связь этих районов и тем самым снижают общий коэффициент непрямолинейности поездок. Но остроугольные пересечения затрудняют застройку и образуют сложные транспортные узлы, ограничивающие пропускную способность ТС. Прямоугольно-линейную схему ТС имеют города, вытянутые вдоль рек и побережья (Волгоград, мегаполис Юрмала на Рижском взморье, Черноморское побережье Кавказа, Южный берег Крыма и др.).

Свободные схемы ТС. Эти схемы ТС (рис. 5.1, ж), затрудняющие организацию нормальной транспортной связи районов города, имеют некоторые старые восточные и европейские города, сохранившие хаотичную средневековую планировку (Багдад, Старая Рига и др.). В настоящее время такие схемы могут быть рекомендованы только для небольших курортных городов, где благодаря свободной планировке застройка приобретает живописность и хорошо вписывается в рельеф местности. В остальных случаях их перестраивают, что часто связано с необходимостью больших затрат.

Выбор схем ТС для каждого конкретного города представляет собой очень ответственную и сложную задачу, связанную с большими капитальными затратами и трудностями корректировки после застройки города. Неправильно запроектированная ТС требует больших эксплуатационных расходов и значительно усложняет нормальное функционирование города. Поэтому методы проектирования ГТС непрерывно совершенствуются на основе применения методов теории графов и новейшей вычислительной техники.

§ 5.2. Основные характеристики и критерии оптимизации городских транспортных сетей

Для сравнения и оценки ГТС используют ряд показателей, которые характеризуют соответствие транспортной сети обслуживаемому городу и осваиваемым пассажиропотокам. Различают две группы этих показателей: технические и экономические.

Технические показатели. Характеризуют совершенство технических решений сети по различным критериям оптимизации (доступности для населения, обеспечения прямолинейности поездок, маневренности, изолированности от городской застройки и остального городского движения, трудности сообщения и др.). Все эти показатели выражают в относительных (безразмерных) или размерных единицах. Основным недостаток технических показателей — их несравнимость, трудность, а часто и невозможность приведения к единому измерителю. Вместе с тем они дают возможность непосредственно в явном виде исследовать и направленно выбирать характеристики ГТС.

Экономические показатели. Характеризуют совершенство ГТС косвенно по критерию минимума капитальных затрат и эксплуатационных

расходов в рублях. Недостаток экономических показателей состоит в том, что они связаны с техническими решениями в неявном виде, достоинство — в том, что их выражают в одних и тех же приведенных единицах (руб.), благодаря чему они легко сравнимы.

К основным техническим характеристикам относят показатели, характеризующие удобство пользования сетью и уровень транспортного обслуживания ею населения города: пешеходную доступность транспортных линий и остановочных пунктов ($l_{пеш}$, $t_{пеш}$); населенность зоны пешеходной доступности транспортных линий ($n_{п.д}$) и транспортной доступности основных центров транспортного тяготения города ($n_{т.д}$); плотность транспортной сети (δ); коэффициент охвата (k_o); коэффициент рядности ($k_{р.д}$); среднесетевую максимальную разрешенную скорость движения на уличных проездах ($v_{р.ср}$); среднесетевой коэффициент непрямолинейности передвижений между важнейшими пассажирообразующими центрами города ($k_{нп.с}$); удельный вес передвижений населения с затратами времени, не превышающими норм СНиП (γ_{30} , γ_{40}); среднюю трудность сообщения по затратам времени на передвижения ($t_{ср}$) и др.

Максимальная и средняя пешеходная доступность транспортных линий и их остановочных пунктов, характеризует максимальные и вероятные затраты времени населения в пешеходных передвижениях к ним. Пешеходная доступность остановочных пунктов определяется в соответствии с математическими моделями (3.34) или (3.35) как расстояние подхода к ним $l_{пеш}$ или затраты времени в передвижении $t_{пеш}$, а доступность транспортных линий — как величина l_1 в модели (3.34). При этом пешеходная доступность остановочных пунктов является функцией двух характеристик — плотности транспортной сети и длины перегона, а пешеходная доступность транспортных линий — только плотности транспортной сети (см. § 3.3).

Средняя по городу пешеходная доступность транспортных линий определяется в зависимости от плотности транспортной сети по (3.37). По этому же выражению можно определить среднюю пешеходную доступность транспортных линий в отдельных зонах города (центральной, срединной, периферийной), если известна плотность ТС по зонам. Фактическую пешеходную доступность тех или других точек городской территории определяют как кратчайшие расстояния от них до линий ТС или остановочных пунктов с учетом коэффициента непрямолинейности связей.

Населенность зоны пешеходной доступности транспортных линий (%) определяется количеством (выраженным в процентах) городских жителей, проживающих в зоне пешеходной доступности линий ТС:

$$n_{п.д} = 100N_{п.д}/N, \quad (5.3)$$

где $N_{п.д}$ — количество жителей, проживающих в зоне пешеходной доступности транспортных линий; N — общее количество населения города.

Для определения населенности зоны пешеходной доступности транспортных линий строят *планограммы* расселения городского населения — гочечное изображение распределения населения на плане города.

В соответствии с рекомендациями «Методических указаний» [14] максимальный радиус пешеходной доступности остановочных пунктов (с учетом непрямолинейности подхода) $R_{п.д. макс} = 400$ м в районах с капитальной многоэтажной застройкой (центр городов) и 560 м в районах с малоэтажной (усадебной) застройкой. Оптимальное расстояние между магистральными улицами в направлении преобладающих пассажиропотоков в соответствии с (3.40) составляет $l_{опт} = (1,6 \div 1,7) R_{п.д. макс}$. Рекомендуемая максимальная и средняя зоны пешеходной доступности транспортных линий в центральных зонах городов

$$l_{п.д. макс} = 0,5l_{опт} = 0,5(1,6 \div 1,7) 400 = 320 \div 340 \text{ м} \approx 330 \text{ м};$$

$$l_{п.д. ср} = 0,5l_{п.д. макс} = 0,5 \cdot 330 = 165 \text{ м};$$

в периферийных зонах города

$$l_{п.д. макс} = 0,5l_{опт} = 0,5(1,6 \div 1,7) 560 = 448 \div 476 \text{ м} \approx 460 \text{ м};$$

$$l_{п.д. ср} = 0,5l_{п.д. макс} = 0,5 \cdot 460 = 230 \text{ м}.$$

На рис. 5.2 условно показан город, обслуживаемый двумя диаметрными транспортными линиями 1—1 и 2—2. Зону 330-метровой пешеходной доступности транспортных линий этого города получим, откладывая в обе стороны от них границы зоны, отстоящие от транспортных линий на 330 м. Для построения планограммы расселения город делят на микрорайоны, каждый из которых имеет 100, 500, 1000 и т. д. количество жителей. Микрорайоны выбирают так, чтобы они имели примерно одинаковую плотность населения во всех точках (застройку одинаковой этажности). В центре тяжести каждого микрорайона ставят точку, символизирующую принятое количество жителей. По густоте расположения точек можно наглядно судить о плотности расселения городского населения по различным зонам. Линии ТС должны проходить по наиболее густозаселенным районам города.

Если планограмма расселения имеет такой вид, как представлено на рис. 5.2, то для определения населенности 330-метровой зоны пешеход-

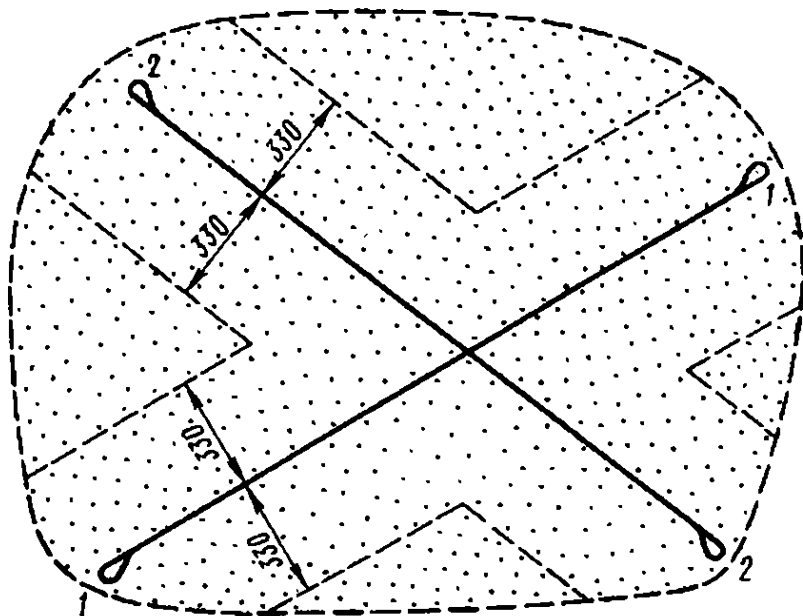


Рис. 5.2

Зона пешеходной доступности транспортных линий на планограмме расселения городского населения

ной доступности транспортных линий $n_{п.д.330}$ (%) или какой-либо другой, например 460-метровой $n_{п.д.460}$, подсчитывают количество точек в соответствующей зоне и определяют ее общую населенность, например H_{330} , а затем относительную:

$$n_{п.д.330} \% = 100H_{п.д.330}/H.$$

Так как максимальная пешеходная доступность в периферийных районах города $l_{п.д.макс} = 460$ м, то вне этой зоны в нормальных условиях не должна находиться ни одна точка селитебной территории города.

Населенность (%) зоны транспортной доступности основных центров транспортного тяготения города (культурно-бытовых, промышленных и др.)

$$n_{т.д} = 100H_{т.д}/H, \quad (5.4)$$

где $H_{т.д}$ — количество населения, проживающего в зоне транспортной доступности рассматриваемой группы центров транспортного тяготения.

Для определения $H_{т.д}$ строят изохронограммы транспортной доступности центров транспортного тяготения и накладывают их на планogramму расселения. *Изохронограммой транспортной доступности* называют замкнутые контуры, ограничивающие области той или другой, например 30- или 40-минутной, транспортной доступности рассматриваемого города по отношению к тому или другому центру транспортного тяготения (см. § 9.1). Строительные нормы и правила нормируют транспортную доступность центров трудового тяготения населения: не менее 80—90% населения должно проживать в зоне 40-минутной транспортной доступности центров трудового тяготения (мест приложения труда) в крупных и крупнейших городах и 30-минутной — в остальных городах. С целью выяснения характера расселения городского населения в отношении транспортной доступности основных центров транспортного тяготения величину $H_{т.д}$ определяют по зонам доступности — 15-, 30-, 45-минутным или другим.

Плотность транспортной сети δ определяют как отношение длины уличных проездов L_c , обслуженных линиями транспортной сети, к селитебной площади города $F_{сел}$:

$$\delta = L_c/F_{сел}. \quad (5.5)$$

Как показывают эмпирические расчеты, независимо от схемы транспортной сети ее плотность δ связана со средней пешеходной доступностью транспортных линий приближенным соотношением (3.37). Принимая $l_{п.д.макс} = 330$ м для центральных и 460 м для периферийных районов города, можно получить соответствующую им минимальную плотность транспортной сети в центральных районах:

$$\delta_{мин} = 1/(3l_{п.д.макс}) = 1/(3 \cdot 0,33) \approx 1 \text{ км/км}^2;$$

в периферийных районах

$$\delta_{мин} = 1/(3l_{п.д.макс}) = 1/(3 \cdot 0,46) \approx 0,7 \text{ км/км}^2.$$

Фактическая плотность транспортных сетей МПТ крупных городов мира по данным Международного союза общественного транспорта (МСОТ) находится в пределах от 0,04 (Бостон, США) до 5,43 (Стамбул, Турция). Средняя плотность сетей МПТ составляет: в Москве — 1,9, Ленинграде — 1,67, Лондоне — 1,68, Риме — 2,51, Париже — 0,66, Праге — 1,46, Нью-Йорке — 2,6, Чикаго — 3,17 и т. д.

По действующим градостроительным нормам средняя плотность транспортных сетей в городах находится в пределах 1,5—2,0 км/км², чему соответствует средняя зона пешеходной доступности

$$l_{п.д.ср} = 1/(3\delta) = 1/[3(1,5 \div 2,0)] = 222 \div 167 \text{ м.}$$

Эти цифры нужно рассматривать как ориентировочные. В каждом конкретном городе оптимальная плотность транспортной сети должна соответствовать осваиваемым пассажироперевозкам. И недостаточная, и излишняя плотность ТС приводят к ухудшению транспортного обслуживания населения. Зависимость плотности ТС от объема транспортной работы можно показать расчетом. Пусть часовой объем работы транспортной сети $\sum_j A_{ij} l_{ij} = Q$ пасс-км/ч [см. (3.55)]. Количество подвижного состава $N_{дв}$, которое при расчетной вместимости m_p и коэффициенте наполнения k_n потребуется выпускать на линию для освоения этого объема транспортной работы, можно найти из условия равенства запроса на поездки (пасс-км) их обеспечению предоставляемыми место-километрами $Q = N_{дв} m_p k_n v$, откуда

$$N_{дв} = Q/(m_p k_n v). \quad (5.6)$$

Пусть транспортная сеть города имеет длину L_c (по оси улиц) и общую длину маршрутов $\sum l_m$. Отношение $k_m = \sum l_m / L_c$ называют маршрутным коэффициентом. Он показывает, сколько километров маршрутов приходится на 1 км длины уличных проездов, обслуженных транспортной сетью.

Средний по сети маршрутный интервал между поездами

$$l_{н.с} = 2 \sum l_m / N_{дв} = 2k_m L_c / N_{дв}; \quad (5.7)$$

$$t_{н.с} = l_{н.с} / v = 2k_m L_c / (N_{дв} v), \quad (5.8)$$

откуда

$$L_c = N_{дв} v t_{н.с} / (2k_m),$$

или с учетом (5.6)

$$L_c = Q / (m_p k_n) [t_{н.с} / (2k_m)].$$

Следовательно,

$$\delta = L_c / F_{с.л} = [Q / (m_p k_n)] [t_{н.с} / (2k_m F_{с.л})]. \quad (5.9)$$

Уравнение (5.9) показывает, что плотность сети δ прямо пропорциональна полезной работе транспорта Q и среднесетевому интервалу между поездами $t_{н.с}$ и обратно пропорциональна маршрутному коэффициенту,

т. е. степени развития маршрутной системы. Следовательно, чем больше сетевая транспортная работа Q , тем при прочих равных условиях больше и плотность сети δ . С другой стороны, при том же объеме транспортной работы Q с ростом плотности сети δ увеличивается среднесетевой интервал между поездами $t_{\text{н.с.}}$ и среднее время ожидания транспорта пассажирами на остановочных пунктах [см. (3.46)].

Чтобы получить достаточно малое время $t_{\text{ож}}$, нужно иметь небольшую плотность сети. Но уменьшение плотности сети приводит к увеличению зоны переходного движения и уменьшению пешеходной доступности транспортных линий. Оптимальную плотность транспортной сети определяют по критерию минимума общих затрат времени в корреспонденциях с учетом капитальных затрат и эксплуатационных расходов, которые растут вместе с ростом плотности сети δ .

Среднюю плотность транспортных сетей и плотность транспортной сети в отдельных районах города рассчитывают по (5.5). Чтобы выделить селитебную площадь, обслуживаемую участками транспортных линий, выполняют построения, показанные на рис. 5.3, а, где двойными линиями показана нерегулярная транспортная сеть, обслуживающая город. Зоны влияния транспортных линий очерчены пунктирными линиями, представляющими собой биссектрисы углов, образуемых транспортными линиями в узлах, геометрические места точек, равноудаленных от транспортных линий, и границы города. При таком построении каждому участку транспортной линии соответствует свой обслуживаемый им селитебный район. Плотность ТС в каждом таком районе можно определить по (5.5) как отношение длины участка ТС к площади района. Например, участок 12—18 транспортной сети обслуживает селитебный район 5—12—11—4—5, участок 9—12 — район 12—10—9—11—12 и т. д.

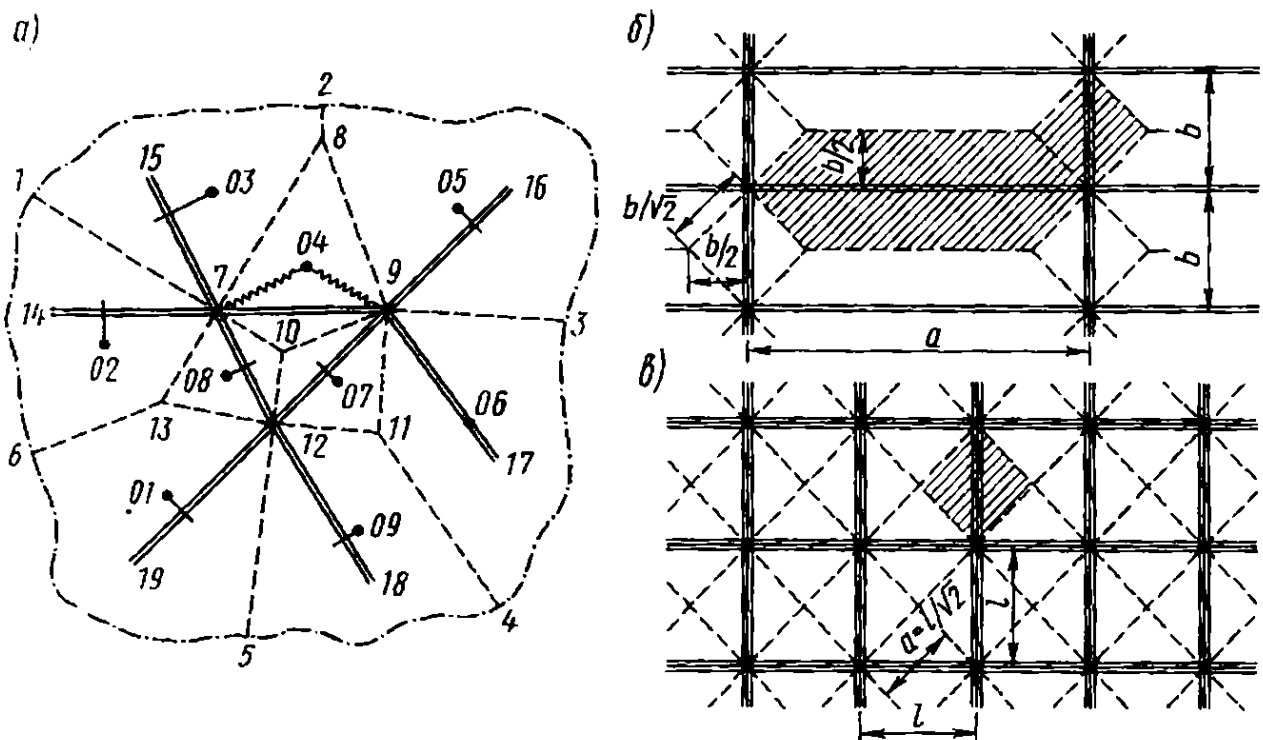


Рис. 5.3

Схемы формирования зон влияния транспортных линий

Транспортные сети, образующие в каком-либо районе правильные геометрические фигуры одинаковых размеров (прямоугольники, квадраты, треугольники), называют *регулярными*. Плотность регулярных ТС рассчитывают как функцию их геометрических характеристик. Например, в прямоугольной регулярной транспортной сети с длиной сторон a и b (рис. 5.3, б) биссектрисами углов, образованных транспортными линиями в узлах, и прямыми, равноудаленными от транспортных линий, выделяются зоны влияния (на рисунке заштрихованные). Они представляют собой шестиугольники, охватывающие участки длиной a , и квадраты, охватывающие участки длиной b транспортной сети. Площадь шестиугольника $F_1 = b(a - 0,5b)$, площадь квадрата — $F_2 = 0,5b^2$, общая площадь зоны влияния транспортных линий $F = F_1 + F_2 = ba$, плотность прямоугольной транспортной сети

$$\delta_{\text{пр}} = L_c / F_{\text{сез}} = (a + b) / (ba). \quad (5.10)$$

При квадратной регулярной транспортной сети зоны влияния транспортных линий l представляют собой квадраты со стороной $l/\sqrt{2}$ (рис. 5.3, в). Их площадь $F = 0,5l^2$, плотность транспортной сети

$$\delta_{\text{кв}} = L_c / F_{\text{сез}} = l / (0,5l^2) = 2/l. \quad (5.11)$$

Выражение (5.11) выводится как частный случай из (5.10) при $a = b = l$.

При оптимальной квадратной транспортной сети с $l_{\text{опт}} = 660$ м (в центральных районах городов с капитальной многоэтажной застройкой):

$$\delta_{\text{кв.опт}} = 2/l_{\text{опт}} = 2/0,66 \approx 3 \text{ км/км}^2;$$

и при $l_{\text{опт}} = 920$ м (в периферийных районах городов)

$$\delta_{\text{кв.опт}} = 2/l_{\text{опт}} = 2/0,92 \approx 2,2 \text{ км/км}^2.$$

При прямоугольной транспортной сети с $b = l_{\text{опт}} = 660$ м и $a = 2b = 1320$ м

$$\delta_{\text{пр.опт}} = (a + b) / ba = (1320 + 660) / 660 \cdot 1320 = 2,28 \text{ км/км}^2.$$

Аналогично вычисляют плотность транспортной сети в других случаях. Нормальной плотностью магистральной транспортной сети в городах средней климатической зоны при капитальной многоэтажной застройке считают плотность 2—2,5 км/км² и при малоэтажной (1—2 этажа) — 1,5 км/км².

Нормирование плотности ТС связано с учетом планировочной структуры города, интенсивностью использования (плотностью посещаемости) его территорий (жилых районов, промышленных зон и др.), требованиями минимизации приведенных затрат времени населения в передвижениях и приведенных строительно-эксплуатационных затрат в расчете на 1 км длины сети, экологическими соображениями и др. Установившейся нормой плотности сетей МПТ в жилых районах следует считать 2—2,5 км/км². Для общественных центров, промышленных районов, зон отдыха характерны другие условия застройки и другая

плотность посещаемости. Выбор плотности сетей МПТ в этих районах и зонах определяется интенсивностью использования (плотностью посещаемости) территории. В общественных центрах общегородского значения посещаемость и концентрация движения значительно выше, чем в жилых районах, что определяет целесообразность максимального повышения плотности транспортной сети в пределах ограничений, допускаемых застройкой.

Считают, что по градостроительным ограничениям (размещения комплексов зданий и сооружений, организации пешеходных потоков, обеспечения населению благоприятной среды обитания) предел плотности наземных сетей МПТ для этих условий составляет 4—5 км/км², что при квадратной транспортной сети соответствует расстоянию между магистралями 0,4—0,5 км. Плотность сетей МПТ в промышленных районах может составлять 0,8—1,2 км/км², а в зонах отдыха в зависимости от их специализации и размеров — от 0,2 до 1,2 км/км² [40]. Следовательно, выбор плотности сетей МПТ и связанной с ней доступности остановочных пунктов требует системного анализа городского движения и застройки по градостроительным критериям с учетом санитарно-гигиенических требований к среде обитания населения. Экономические соображения определяют дифференцированный выбор плотности транспортных сетей разных видов ГМПТ, в частности низкую экономически оправданную плотность сетей видов МПТ, отличающихся высокими строительно-эксплуатационными затратами.

Коэффициент охвата сети k_o — отношение длин L_c уличных проездов, обслуженных линиями транспортной сети, к общей длине L_y городской уличной сети:

$$k_o = L_c / L_y. \quad (5.12)$$

Для современных городов

$$k_o = 0,2 \div 0,25.$$

Коэффициент насыщенности городских проездов линиями городского транспорта (коэффициент рядности) $k_{ряд}$ — отношение длины эксплуатационных линий городской транспортной сети в однопутном исчислении L_o к длине уличных проездов L_c , обслуженных транспортной сетью:

$$k_{ряд} = L_o / L_c. \quad (5.13)$$

По характеру использования линии ГТС делят на линии эксплуатационной и обслуживающей сети. *Эксплуатационными* называют линии, по которым осуществляются пассажироперевозки. *Обслуживающими* называют линии маневровых, парковых, подъездных путей и путевого хозяйства конечных станций маршрутов. При расчетах коэффициента рядности $k_{ряд}$ в величине L_o учитывают только длину эксплуатационной транспортной сети.

Величина коэффициента рядности определяется требуемым объемом транспортной работы Q . Чем она больше, тем (при прочих равных условиях) больше и коэффициент рядности. Величина L_o характеризует строительный объем эксплуатационной транспортной сети.

Среднесетевая величина разрешенной максимальной скорости движения на уличных проездах $v_{p,ср}$ [см. (3.14)] характеризует правильность трассировки городской транспортной сети: отсутствие крутых и затяжных уклонов, ограничивающих разрешенную скорость движения, участков с плохой видимостью пути в плане и профиле и других участков с повышенной опасностью движения. При трассировке сети стремятся максимально исключить участки ограничения скорости относительно допускаемой Правилами дорожного движения (ПДД).

Среднесетевой коэффициент непрямолинейности сообщений между важнейшими пассажирообразующими пунктами города

$$k_{нп.с} = \left(\sum^n A_{ij} l_{ij} / l_{ijB} \right) / \sum^n A_{ij}, \quad (5.14)$$

где n — количество участков сети, по которым определяются частные коэффициенты непрямолинейности; A_{ij} — пассажироперевозки между пунктами i и j ; l_{ij} и l_{ijB} — расстояния между пассажирообразующими пунктами i и j по линиям сети l_{ij} и по воздушной прямой l_{ijB} .

На рис. 5.4 показан условный город с квадратной транспортной сеткой $l = 1$ км и тремя главными пунктами транспортного тяготения 1, 2 и 3. На линиях, соединяющих пассажирообразующие пункты, нанесены: сверху — суточный пассажиропоток (тыс. пассажиров), снизу дробью: в числителе — расстояние между пунктами по транспортной сети, в знаменателе — по воздушной прямой. Для этой схемы средний коэффициент непрямолинейности поездок

$$k_{нп.с} = \left(\sum^n A_{ij} l_{ij} / l_{ijB} \right) / \sum^n A_{ij} = (200 \cdot 4/3,17 + 150 \cdot 5/3,6 + 250 \cdot 3/2,24) / (200 + 150 + 250) = 1,325.$$

Этот коэффициент непрямолинейности высок (средняя фактическая длина поездки более чем на 30% превышает минимально необходимую).

Удельный вес трудовых передвижений с затратами времени, не превышающими норм СНиП (40 мин в крупнейших и крупных и 30 мин в остальных городах):

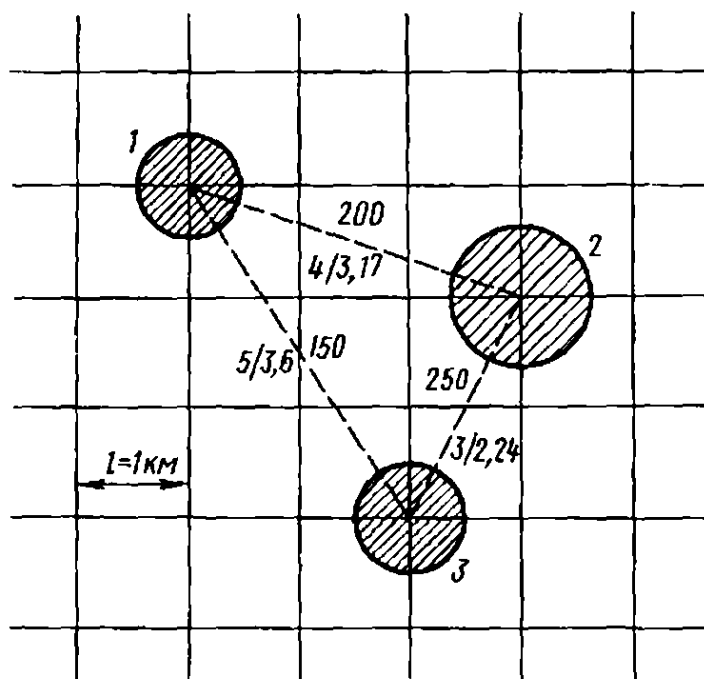


Рис. 5.4

Условный город с тремя главными центрами транспортного тяготения

$$\gamma_{40} = A_{40}/A; \quad \gamma_{30} = A_{30}/A, \quad (5.15)$$

где A_{40} , A_{30} — объемы трудовых передвижений с затратами времени, не превышающими соответственно 40 и 30 мин; A — общий объем рассматриваемых передвижений.

Показатели γ_{40} и γ_{30} являются важнейшими характеристиками, учитываемыми при проектировании ТС. В соответствии с требованиями СНиП II-60—75 п. 8.11 величина γ (соответственно γ_{40} или γ_{30} в зависимости от группы города по населенности) не должна быть меньше 0,8—0,9. Эти пределы изменения величины γ весьма широки. Обычно $\gamma = 0,8$ можно обеспечить обычными уличными видами ГМПТ, а $\gamma = 0,9$ требует использования скоростных видов ГМПТ. В практике транспортных расчетов городских транспортных систем на ближайшую перспективу исходят, как правило, из величины $\gamma = 0,8$, а на отдаленную принимают $\gamma = 0,9$. Низкая величина γ может быть следствием недостаточной плотности ТС, низкой скорости сообщения v_c принятых видов транспорта и большого времени ожидания транспорта в результате недостаточной частоты движения.

Средняя трудность сообщения t_{cp} характеризует математическое ожидание затрат времени на одно передвижение, обеспечиваемых транспортной сетью.

С учетом фактических осваиваемых пассажиропотоков средняя трудность сообщения целевых передвижений

$$t_{cp} = \sum_{ij} A_{ij} t_{ij} / \sum_{ij} A_{ij}. \quad (5.16)$$

Чтобы обеспечить минимальную величину t_{cp} , необходимо максимально снижать трудность сообщения прежде всего на направлениях массовых пассажироперевозок, т. е. между главными пассажирообразующими пунктами города.

Основные экономические характеристики транспортной сети — общие и удельные капитальные затраты и эксплуатационные расходы по транспортной сети в расчете на 1 км длины, на один предоставляемый пассажирам место-км, на единицу транспортной работы. Все эти характеристики рассмотрены в § 4.2.

§ 5.3. Расчет оптимальной плотности транспортной сети по критерию минимума трудности сообщения

Необходимую плотность транспортной сети определяют капиталовложения и эксплуатационные расходы, затраты времени населения в корреспонденциях и другие важнейшие показатели транспортной системы. Поэтому расчет оптимальной плотности ТС имеет принципиальное значение в транспортном планировании. Критерии оптимизации при этом расчете могут быть различными: минимум затрат транспортного времени населения в корреспонденциях, минимум себестоимости пассажироперевозок [коп/(пасс-км)] и др. При этом нужно иметь в виду, что разные виды ГПТ характеризуются разными капитальными затратами и эксплуатационными расходами и, следовательно, экономическая плот-

ность их ТС в комплексной транспортной системе различна для городов разных групп населенности. Вследствие многофакторной зависимости от характеристик обслуживаемого города расчет оптимальной плотности ТС является комплексной задачей, решаемой в настоящее время в общем комплексе задач транспортного планирования методом сравнения вариантов. Важное значение имеют и расчеты оптимальной плотности ТС по отдельным критериям оптимизации, так как они дают возможность теоретического осмысливания системных связей рассматриваемого явления. Исходя из критериев народнохозяйственной эффективности ГПТ одним из важнейших критериев оптимизации ГТС является критерий минимума приведенной трудности сообщения (3.31):

$$t_{\text{прив}} = 2t_{\text{пеш}}\varepsilon_{\text{пеш}} + t_{\text{ож}}\varepsilon_{\text{ож}} + t_{\text{тр}}\varepsilon_{\text{тр}} = \text{Мин.}$$

Затраты времени на пешеходный подход от двери ПО к остановке ГПТ в начале поездки и от остановки ГПТ к двери ПН в конце поездки (3.38) будет:

$$2t_{\text{пеш}} = 2k_{\text{нп}}k_{\text{в.о}}[1/(3\delta) + l_{\text{п}}/4]\varepsilon_{\text{пеш}}/v_{\text{пеш}};$$

затраты времени на ожидание транспорта (3.46):

$$t_{\text{ож}} = 0,5t_{\text{п}}\varepsilon_{\text{р}}\varepsilon_{\text{ож}};$$

с учетом (5.8) и $\delta = L_{\text{с}}/F_{\text{сел}}$ получим

$$t_{\text{ож}} = 0,5[2k_{\text{м}}\delta F_{\text{сел}}/(N_{\text{дв}}v_{\text{э}})]\varepsilon_{\text{р}}\varepsilon_{\text{ож}}.$$

На затраты времени в транспортном передвижении $t_{\text{тр}}$ плотность сети δ оказывает двойственное влияние. С одной стороны, с ростом δ увеличиваются количество узлов транспортных линий и задержки движения и снижается скорость сообщения, что приводит к росту трудности транспортных передвижений. С другой стороны, с ростом плотности транспортной сети увеличиваются возможности выбора направлений движения, уменьшается коэффициент непрямолинейности и длина транспортных передвижений, что способствует снижению трудности передвижения. Таким образом, изменение δ вызывает появление двух групп факторов, воздействующих на трудность транспортных передвижений в противоположных направлениях. В первом приближении можно считать, что действие их уравнивается и суммарные затраты времени на транспортное передвижение не зависят от плотности ТС.

С учетом полученных соотношений критерий минимума приведенной трудности сообщения будет:

$$\begin{aligned} t_{\text{прив}} = 2t_{\text{пеш}}\varepsilon_{\text{пеш}} + t_{\text{ож}}\varepsilon_{\text{ож}} + t_{\text{тр}}\varepsilon_{\text{тр}} = 2k_{\text{нп}} \times \\ \times k_{\text{в.о}}[1/(3\delta) + l_{\text{п}}/4]\varepsilon_{\text{пеш}}/v_{\text{пеш}} + [k_{\text{м}}\delta F_{\text{сел}}/(N_{\text{дв}}v_{\text{э}})]\varepsilon_{\text{р}}\varepsilon_{\text{ож}} + \\ + l_{\text{тр}}\varepsilon_{\text{тр}}/v_{\text{с}} = \text{Мин,} \end{aligned} \quad (5.17)$$

или $a + b\delta + c/\delta = \text{Мин,}$

где a , b и c — постоянные, не зависящие от δ .

Функцию (5.17) можно исследовать графически и аналитически. На рис. 5.5 показано ее графическое построение. Точка минимума зависимости $t_{\text{прив}}(\delta)$ определяет оптимальную плотность транспортной сети $\delta_{\text{опт}}$. Для аналитического определения минимума функции (5.17) найдем ее первую производную и приравняем нулю: $dt_{\text{прив}}/d\delta = -2\epsilon_{\text{пеш}}/(3\delta_{\text{опт}}^2 v_{\text{пеш}}) + k_m F_{\text{сел}} \epsilon_p \epsilon_{\text{ож}}/(N_{\text{дв}} v_s) = 0$, откуда

$$\delta_{\text{опт}} = \sqrt{2\epsilon_{\text{пеш}} N_{\text{дв}} v_s / (3k_m F_{\text{сел}} \epsilon_p \epsilon_{\text{ож}} v_{\text{пеш}})}. \quad (5.18)$$

Нужно иметь в виду, что плотность ТС существенно зависит от планировочных характеристик города, которые учитываются приведенным расчетом только косвенно (при сложном рельефе, требующем от пешехода больших энергетических затрат на пешеходное передвижение, плотность ТС рекомендуется увеличивать, так как при этом растет коэффициент эквивалентности затрат $\epsilon_{\text{пеш}}$). В границах города плотность ТС возрастает от периферии к центру и достигает максимума в районах основных транспортных узлов. Это определяется ростом плотности пассажироперевозок от периферии к центру, которая определяет и плотность движения транспортных средств, учитываемую в (5.17) и (5.18) маршрутным коэффициентом k_m и отношением $N_{\text{пв}}/F_{\text{сел}}$ — количеством поездов, приходящихся на 1 км² селитебной территории города (территориальной плотностью движения).

А. М. Якишин (ЦНИИП градостроительства) предлагает классифицировать транспортные сети городов по средней и зональной плотности на шесть групп (табл. 5.1): с очень малой, малой, умеренной, плотной, очень плотной и исключительно плотной сетью [14]. Рекомендуемая СНиП норма плотности транспортной сети 1,5—2,0 км/км² по этой классификации относится к малой. Если зональные плотности транспортной сети для центральной, срединной и периферийной зон города составляют соответственно $\delta_{\text{ц}}$, $\delta_{\text{ср}}$ и $\delta_{\text{пер}}$, а удельный вес этих зон в общей территории города $f_{\text{ц}}$, $f_{\text{ср}}$ и $f_{\text{пер}}$ (обычно $f_{\text{ц}} \approx 0,07 F_{\text{осв}}$; $f_{\text{ср}} \approx 0,23 F_{\text{осв}}$ и $f_{\text{пер}} \approx 0,7 F_{\text{осв}}$, где $F_{\text{осв}}$ — площадь освоенной территории города), то средняя по городу плотность транспортной сети

$$\delta_r = \delta_{\text{ц}} f_{\text{ц}} + \delta_{\text{ср}} f_{\text{ср}} + \delta_{\text{пер}} f_{\text{пер}}. \quad (5.19)$$

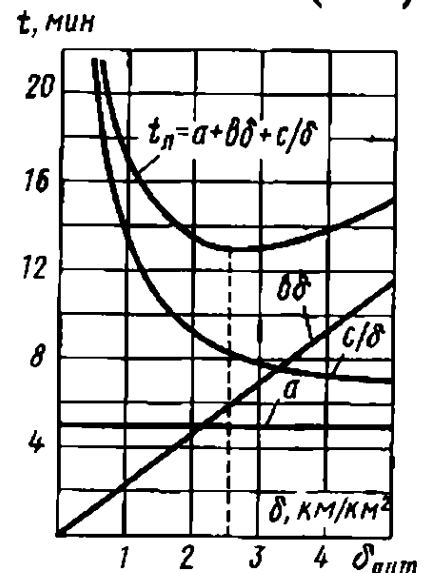


Рис. 5.5

Зависимость трудности передвижений от плотности транспортной сети

Таблица 5.1

Группы плотности транспортной сети	Территориальная плотность транспортной сети, км/км ²			
	средняя по городу	в центральной зоне	в средней зоне	в периферийной зоне
Очень малая	Менее 1,6	Менее 3,0	Менее 1,6	Менее 1,35
Малая	1,6—2,2	3,0—3,5	1,6—2,5	1,35—2,0
Умеренная	2,2—2,75	3,5—4,0	2,5—3,5	2,0—2,42
Плотная	2,75—3,25	4,0—5,0	3,5—4,5	2,42—2,75
Очень плотная	3,25—3,70	5,0—6,0	4,5—5,0	2,75—3,15
Исключительно плотная	Более 3,7	Более 6,0	Более 5,0	Более 3,15

Классификационная схема (табл. 5.1) условна, но тем не менее дает ориентировку выбора и оценки проектных решений транспортных сетей МПТ.

Различная территориальная плотность требующихся ТС, отраженная табл. 5.1, связана со свойственной городскому пространству территориальной неравномерностью плотности движения — нарастанием ее от периферии к центру. Территориальную плотность движения оценивают количеством поездов в движении $N_{дв.з}$, приходящихся на 1 км² рассматриваемой селитебной зоны города (поездов/км²); или приходящимся на нее объемом выполняемой транспортной работы Q , [пасс-км/(сут-км²)]:

$$n_{F_3} = N_{дв.з}/F_{сел.з}; \quad n_{Q_3} = Q_3/F_{сел.з}, \quad (5.20)$$

где $F_{сел.з}$ — селитебная площадь рассматриваемой зоны города.

В среднем по городу территориальные плотности движения и объема выполняемой транспортной работы

$$n_F = N_{дв}/F_{сел} \quad \text{и} \quad n_Q = Q/F_{сел}, \quad (5.21)$$

где $N_{дв}$ — общее по городу количество подвижного состава в движении; Q — общий по городу объем транспортной работы МПТ или ИПТ.

Неравномерность территориальной плотности движения оценивают отношением плотности движения в рассматриваемой зоне к средней по городу:

$$k_{F_3} = n_{F_3}/n_F \quad \text{и} \quad k_{Q_3} = n_{Q_3}/n_Q. \quad (5.22)$$

Общий характер зависимостей $k_{F_3}(R)$ и $k_{Q_3}(R)$ коэффициентов неравномерности территориальной плотности движения по линейному размеру города R сходен с зависимостями $h_F(R)$, показанными на рис. 1.4.

Зональная плотность ТС в первом приближении пропорциональна зональной территориальной плотности движения, но ее определяют также и другие характеристики транспортных систем, в частности используемые в разных зонах виды ГПТ. Зависимость характеристик ТС (в частности, плотности) от территориальных характеристик города определяет необходимость их изучения и дифференцированного нормирования по его различным зонам.

Глава 6

РАСЧЕТ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

§ 6.1. Пропускная способность в сечении перегона

Интенсивность движения J (поездов/ч), требующаяся для освоения заданного объема пассажироперевозок A , может быть найдена из условия равенства запроса на пассажироперевозки и их обеспечения месточасами: $A = Jm_p k_n$, откуда

$$J = A/(m_p k_n). \quad (6.1)$$

Интенсивность движения не может быть больше пропускной способности транспортной линии [см. (3.13а)]. Это определяет необходимость проверки пропускной способности транспортных линий и сравнения ее с требуемой интенсивностью движения, а в тех случаях, когда расчетная интенсивность движения превышает пропускную способность, — изыскания методов ее повышения.

Практически пропускную способность транспортных линий ограничивают «лимитирующие точки» — участки, на которых требуется снижение скоростей и увеличение интервалов между поездами по условиям безопасности движения (кривые малых радиусов, участки с затяжными уклонами, с плохой видимостью пути), остановочные пункты, конечные станции маршрутов, перекрестки, железнодорожные переезды и т. д. Для оценки степени их влияния на пропускную способность последнюю сравнивают с пропускной способностью полосы движения при безостановочном движении транспорта (в сечении перегона), которая лимитируется минимальным интервалом между поездами, допустимым по условиям безопасности движения.

На пропускную способность влияют динамические характеристики транспортных средств, состав транспортного потока, психофизиологические характеристики и квалификация водителей, характеристики дорожных условий, принципы организации движения транспорта и др. В расчетах пропускной способности задаются определенной математической моделью транспортного потока в рассматриваемой точке (сечении) транспортной линии, для которой и выполняют расчет. В частности, при расчете пропускной способности в сечении перегона исходят из модели движения с максимальной плотностью, допустимой при заданной скорости.

Минимальный интервал между поездами должен быть таким, чтобы в случае внезапной остановки впереди идущего поезда следующий за ним мог своевременно остановиться (было исключено столкновение поездов). Схема определения минимального интервала $t_{н.мин}$ между поездами 1 и 2, движущимися со скоростью v , показана на рис. 3.3, а.

Пропускная способность

$$П = 3600/t_{н.мин} = 3600/[t_p + v/(2a_T) + (l_n + l_6)/v] \quad (6.2)$$

$$\Pi = 3600v/l_{\text{н.мин}} = 3600v/[vt_p + v^2/(2a_T) + (l_{\text{п}} + l_{\text{б}})]. \quad (6.3)$$

Выражения (6.2) и (6.3) аналогичны (3.8) и (3.9), так как последние выведены для режима колонного движения поездов с минимальными интервалами. Они показывают, что пропускная способность Π является функцией скорости движения транспортных средств. При $v=0$ и $v=\infty$ по (6.2) получаем $\Pi=0$. Следовательно, зависимость $\Pi(v)$ имеет точку максимума при некоторой скорости $v=v_{\text{опт}}$. Последнюю найдем, приравняв нулю производную $dt_{\text{н.мин}}/dv$:

$$dt_{\text{н.мин}}/dv = 1/(2a_T) - (l_{\text{п}} + l_{\text{б}})/v_{\text{опт}}^2 = 0, \quad (6.4)$$

откуда

$$v_{\text{опт}} = \sqrt{2(l_{\text{п}} + l_{\text{б}})a_T} \quad (6.5)$$

или (при $l_{\text{б}} = l_{\text{п}}$)

$$v_{\text{опт}} = 2\sqrt{l_{\text{п}}a_T}. \quad (6.6)$$

На рис. 6.1 показана зависимость $\Pi(v)$, построенная при $t_p = 1,5$ с; $a_T = 1,5$ м/с² и $l_{\text{п}} = l_{\text{б}} = 15$ м. Она показывает, что с ростом скорости транспортного потока пропускная способность полосы движения вначале монотонно возрастает, достигая максимума при $v = v_{\text{опт}}$, и при дальнейшем росте скорости падает. Это связано с тем, что с ростом скорости движения прогрессивно растет требующийся интервал между поездами $t_{\text{н.мин}}$ и транспортный поток разреживается.

Скорость $v_{\text{опт}}$ зависит только от длины поезда, его тормозного замедления и принятого зазора безопасности между поездами. При $l_{\text{п}} = l_{\text{б}} = 15$ м и $a_T = 1,5$ м/с² получаем

$$v_{\text{опт}} = \sqrt{2a_T(l_{\text{п}} + l_{\text{б}})} = \sqrt{2 \cdot 1,5(15 + 15)} = 9,5 \text{ м/с} = 34,2 \text{ км/ч}.$$

Соответствующая этой скорости максимальная пропускная способность

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{макс}} &= 3600/[t_p + v/(2a_T) + (l_{\text{п}} + l_{\text{б}})/v] = 3600/(1,5 + \\ &+ 9,5/2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 15/9,5) = 435 \text{ поездов/ч}. \end{aligned}$$

Приведенный расчет показывает, что оптимальная по использованию пропускной способности скорость движения транспортных средств

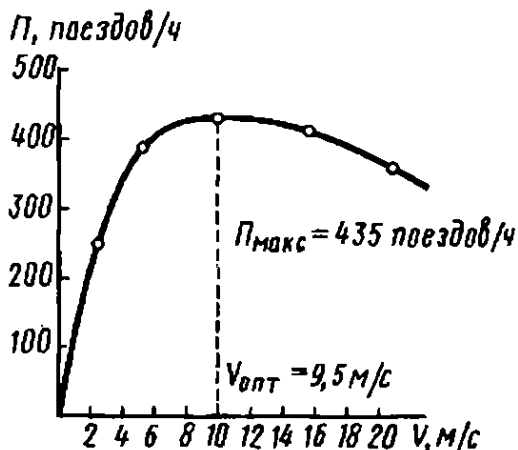


Рис. 6.1

Зависимость пропускной способности сечения перегона от скорости

сравнительно невысока. Она значительно ниже технической скорости современных транспортных средств. Повышение ее с целью снижения трудности сообщения возможно только за счет увеличения тормозного замедления a_t , которое в реальных условиях ограничивается сцеплением колес с путевым устройством и соображениями пассажирской безопасности. Современный подвижной состав ГМПП реализует тормозные замедления до 3—5 м/с².

Отметим два обстоятельства:

1. Приведенные расчеты пропускной способности справедливы только для однородного транспортного потока. При разнородном потоке с запрещенным обгоном транспортных средств пропускная способность полосы движения ограничивается пропускной способностью, соответствующей подвижному составу с наиболее низкими динамическими показателями.

2. Реальный транспортный поток имеет стохастический характер движения, зависящий от случайных изменений транспортной ситуации и индивидуальных особенностей водителей транспортных средств. Поэтому пропускная способность подчиняется статистическим закономерностям и должна изучаться вероятностными методами. Вследствие различных случайных причин фактическая пропускная способность всегда ниже теоретической, определяемой по (6.2) и (6.3).

§ 6.2. Пропускная способность остановочных пунктов

Пропускную способность линий ГПП обычно ограничивает пропускная способность остановочных пунктов. При ее расчете исходят из схемы транспортной ситуации, показанной на рис. 6.2, а: принимают, что пропускная способность остановочного пункта будет максимальной, если поезд 2 подходит к остановочному пункту со скоростью v на величину зазора безопасности $l_6 = l_n$ в момент, когда предыдущий 1 отходит от остановки ОП на величину пути, равную своей длине l_n . На пути l_n поезд 2 загормаживается и останавливается у остановочного знака, как показано на рис. 6.2, б.

Интервал времени $t_{н.мин}$ между поездами, проходящими остановочный пункт, складывается по этой схеме из:

1. Времени t_t торможения на пути $l_n = 0,5 a_t t_t^2$ со служебным замедлением a_t при равнозамедленном движении:

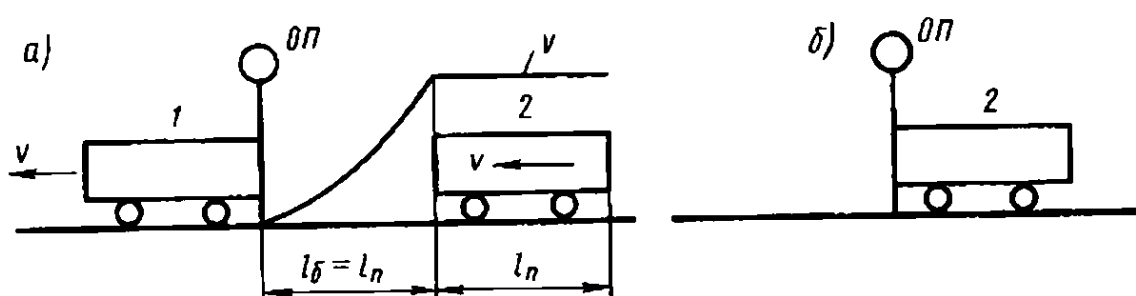


Рис. 6.2

Расчетная схема определения пропускной способности остановочного пункта

$$t_{\tau} = \sqrt{2l_{\pi}/a_{\tau}}. \quad (6.7)$$

2. Времени $t_{од}$, затрачиваемого на открывание дверей поезда (по опытным данным $t_{од} = 1,5-2$ с).

3. Времени $t_{п.в}$ (с), затрачиваемого на пассажирообмен (посадку и высадку пассажиров). В среднем за единицу времени периода наблюдения T (ч) получим [для сравнения см. (3.20)]

$$t_{п.в} = \rho_{о.п} m_p t_{пасс} k_{н.д} / n, \quad (6.8)$$

где $\rho_{о.п} = R_{о.п} / (J m_p)$ — среднечасовой коэффициент пассажирооборота остановочного пункта, показывающий, какую часть расчетной вместимости составляют входящие и выходящие пассажиры; $t_{пасс}$ — время, затрачиваемое на посадку или высадку одного пассажира. На метрополитенах, где посадка и высадка осуществляется с платформ, находящихся в одном уровне с полом вагонов, время $t_{пасс} = 0,4-0,5$ с/пасс, для подвижного состава наземного ГПТ, у которого уровень пола вагонов обычно выше уровня посадочных платформ $t_{пасс} = 0,9-1,2$ с/пасс; $k_{н.д}$ — коэффициент неравномерности посадки и высадки пассажиров по дверям поезда. На метрополитенах этот коэффициент составляет около 1,4, для наземных видов ГПТ при сравнительно небольшом количестве входных и выходных дверей — примерно 1,2; n — количество дверей для входа и выхода пассажиров в поезде;

$$R_{о.п} = (A_{вх} + A_{вых}) / T \quad (6.9)$$

— пассажирооборот остановочного пункта; $A_{вых}$, $A_{вх}$ — количество пассажиров, выходящих из поездов и входящих в поезда на остановочном пункте за единицу времени периода наблюдения T ; J — интенсивность движения через остановочный пункт, поездов/ч.

4. Времени $t_{з.д} = 2-3$ с, затрачиваемого на закрывание дверей поезда после окончания посадки и высадки пассажиров.

5. Времени, затрачиваемого на освобождение остановочного пункта (разгон на пути l_n со служебным ускорением a_n):

$$t_{осв} = \sqrt{2l_n/a_n}. \quad (6.10)$$

Минимальный интервал времени между поездами, проходящими остановочный пункт,

$$t_{н.мин} = t_{\tau} + t_{од} + t_{пв} + t_{з.д} + t_{осв}. \quad (6.11)$$

Пропускная способность остановочного пункта

$$P_{о.п} = 3600/t_{н.мин} = 3600/\sqrt{2l_{\pi}/a_{\tau}} + (1,5 \div 2) + \\ + \rho_{о.п} m_p t_{пасс} k_{н.д} / n + (3 \div 4) + \sqrt{2l_n/a_n}. \quad (6.12)$$

Для трамвайной линии с четырехосными вагонами «Татра» при $l_n = 15$ м; $m_p = 100$ пасс; $\rho_{о.п} = 0,2$; $t_{пасс} = 1$ с; $t_{од} = 2$ с; $t_{з.д} = 3$ с; $a_n = a_{\tau} = 1$ м/с²; $n = 2$ и $k_{н.д} = 1,2$ получим

$$\begin{aligned}
 P_{o.п} &= 3600 / (2 \sqrt{2l_{п}/a} + \rho_{o.п} m_p t_{нас} k_{н.д} / n + 5) = \\
 &= 3600 / (2 \sqrt{2 \cdot 15/1} + 0,2 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1,2/2 + 5) = 3600 / (11 + 12 + \\
 &+ 5) = 3600/28 = 128 \text{ поездов/ч.}
 \end{aligned}$$

Приведенный расчет показывает, что пропускная способность остановочного пункта намного ниже теоретической пропускной способности транспортной линии при безостановочном движении поездов с оптимальной скоростью. В приведенном примере $P_{o.п}/P_{макс} = 128/435 = 0,294 \approx 0,3$ или 30%. В зависимости от коэффициента пассажирооборота время стоянки поездов на остановочном пункте может колебаться от 2—3 с до 1 мин и более. В расчетах среднее время стоянки поездов на остановочных пунктах принимают обычно равным 20 с, чему соответствует $P_{o.п} \approx 180$ поездов/ч.

Основные затраты времени при стоянке поездов на остановочных пунктах связаны с посадкой и высадкой пассажиров. Для ускорения ее с целью снижения трудности сообщения и повышения пропускной способности нужно увеличивать количество дверей для посадки и высадки в поездах, устраивать на остановочных пунктах возвышенные площадки — рефюжи и проектировать подвижной состав с низким уровнем пола.

Расчетная пропускная способность остановочных пунктов наземного ГМПП довольно высока, но при большой интенсивности движения она может оказаться недостаточной. Кроме того, фактическая пропускная способность остановочных пунктов вследствие различных сбоев в движении до 20% ниже, т. е. составляет примерно 0,8 расчетной. Пропускная способность остановочных пунктов может оказаться недостаточной на линиях с интенсивным движением, подобным ул. Горького в Москве, Невскому проспекту в Ленинграде, Крещатику в Киеве и др., когда на отдельных участках линий совпадает несколько маршрутов.

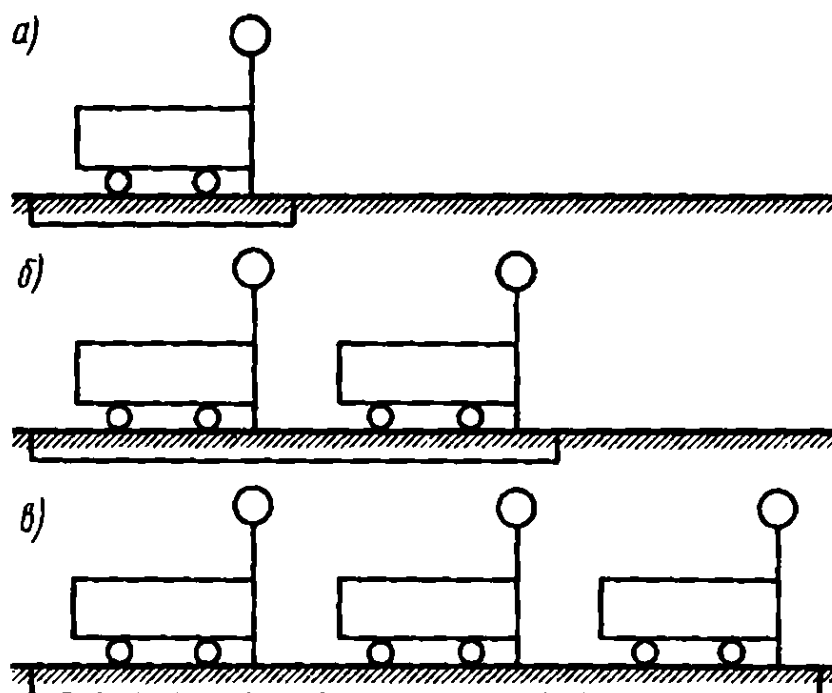


Рис. 6.3

Одиночный (а) и рассредоточенные (б, в) остановочные пункты

Если, например, маршрутный интервал составляет 2 мин, а на участке сети проходит пять маршрутов, то сетевой интервал [см. (3.43)] $t_c = t_n/s = 2/5 = 0,4$ мин = 24 с. Этот интервал меньше минимального, полученного нами при расчете пропускной способности остановочного пункта ($24 < 30$ с), а это означает, что на рассматриваемом участке сети остановочные пункты с большим пассажирооборотом не обеспечат пропуск требуемого количества поездов.

Повышения пропускной способности лимитирующих остановочных пунктов достигают рассредоточением, т. е. заменой одиночного остановочного пункта вдвоенным и строенным. Одиночный *а*, вдвоенный *б* и строенный *в* остановочные пункты показаны на рис. 6.3. Одиночный остановочный пункт пропускает поезда всех маршрутов, а на вдвоенных и строенных у каждого остановочного знака группируют маршруты, близкие по направлениям, причем так, чтобы загрузка каждого из остановочных пунктов была примерно одинакова.

Рассредоточенные остановочные пункты имеют более высокую пропускную способность по сравнению с одиночными, но и более длинный фронт посадки и высадки пассажиров, что приводит к увеличению пешеходных передвижений при пересадках. Степень рассредоточения остановочного пункта оценивают коэффициентом рассредоточения k_p . Для одиночного остановочного пункта $k_p = 1$, для вдвоенного $k_p = 2$ и для строенного $k_p = 3$. Максимально просто и наиболее эффективно рассредоточение остановочных пунктов решается для транспортных средств с разрешенным обгоном, например, автобусов. Но и в этом случае пропускная способность остановочного пункта увеличивается не пропорционально коэффициенту рассредоточения за счет взаимных помех транспортных средств, подходящих к остановочному пункту.

Пропускная способность сложного (рассредоточенного) остановочного пункта

$$P_{o.p} = P_o k_p \varepsilon_{o.p}, \quad (6.13)$$

где P_o — пропускная способность одиночного остановочного пункта; $\varepsilon_{o.p}$ — коэффициент снижения пропускной способности за счет взаимных помех движения транспортных средств, подходящих к сложному остановочному пункту. По опытным данным для одиночных автобусных маршрутов $\varepsilon_{o.p} = 1$, для вдвоенных $\varepsilon_{o.p} = 0,8$ и для строенных $\varepsilon_{o.p} = 0,7$.

Для транспорта с запрещенным обгоном (трамвай, троллейбус)

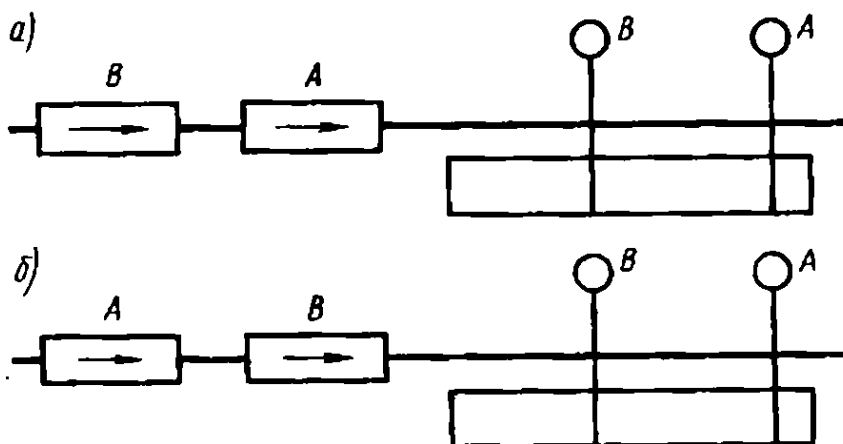


Рис. 6.4

Сдвоенный остановочный пункт трамвая

устройство сдвоенных и строенных остановочных пунктов дает еще меньший эффект. Рассмотрим, например, сдвоенный остановочный пункт трамвая (рис. 6.4), у одного из которых останавливаются поезда группы маршрутов A и у другого — поезда группы маршрутов B . Пусть общий объем движения составляет J поездов в час и распределяется между группами маршрутов A и B как J_A и J_B , причем $J_A + J_B = J$. Поезда групп маршрутов A и B могут подходить к остановочному пункту в сочетании AB (рис. 6.4, а) и в сочетании BA (рис. 6.4, б), причем вероятность сочетания AB

$$P(AB) = P(A) = J_A/J. \quad (6.14)$$

При этом пропускная способность остановочного пункта $\Pi_{AB} = 2\Pi_0$, так как одновременно работают обе его остановки. Аналогично $P(BA) = P(B) = J_B/J$, но при этом $\Pi_{AB} = \Pi_0$, так как поезд группы A будет задерживать поезд группы B и остановочный пункт A будет свободным.

В общем случае при произвольном подходе к остановочному пункту поездов групп A и B его пропускная способность:

$$\Pi_{o.p} = \Pi_{AB} P(AB) + \Pi_{BA} P(BA) = 2J_A/J + J_B/J. \quad (6.15)$$

Пусть, например, $J_A = J/3$ и $J_B = 2J/3$. Тогда $\Pi_{o.p} = 2/3 + 2/3 = 1,33$ и соответственно $\varepsilon_{o.p} = \Pi_{o.p}/(\Pi_0 k_p) = 1,33/2 = 0,67$. Это значение $\varepsilon_{o.p}$ почти на 20% меньше, чем для сдвоенных автобусных остановочных пунктов ($0,67/0,8 = 0,835$). В лучшем случае при $J_A = J_B$ получим $\Pi_{o.p.макс} = 1,5$ и $\varepsilon_{o.p.мин} = 0,75$ — на 6% меньше $\varepsilon_{o.p} = 0,8$. Для строенного остановочного пункта таким же расчетом можно получить $\Pi_{o.p.макс} = 2$ и $\varepsilon_{o.p.мин} = 2/3 = 0,67 < 0,7$. При этом нужно иметь в виду, что фактические величины коэффициента $\varepsilon_{o.p}$ вследствие действия различных мешающих факторов меньше расчетных, но для их определения требуются иные методы — методы статистического анализа фактического движения.

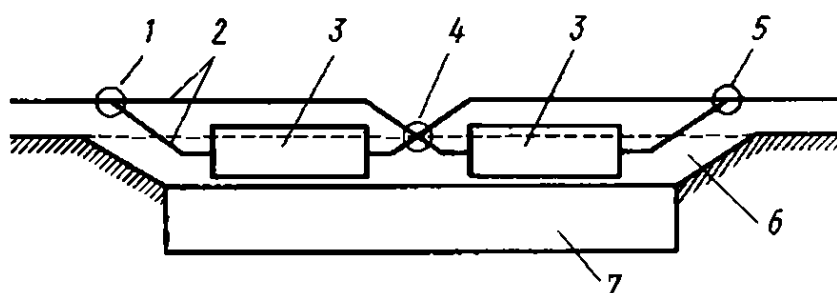
Более высокого использования сложных остановочных пунктов на троллейбусных линиях можно достигнуть устройством на них специальной «восьмерочной» схемы подвески контактной сети (рис. 6.5), обеспечивающей возможность объезда впереди стоящего троллейбуса при подходе к свободной остановке. Но коэффициент снижения пропускной способности $\varepsilon_{o.p}$ троллейбусных остановочных пунктов остается при этом все же более высоким, чем для автобусных.

Большой эффект повышения пропускной способности остановочных пунктов дает устройство на них возвышенных посадочных площадок — рефюжей, облегчающих пассажирообмен.

Рис. 6.5

Восьмерочная схема подвески контактной сети на троллейбусном остановочном пункте:

1 — воздушная стрелка расхождения; 2 — контактная сеть; 3 — троллейбусы; 4 — воздушное пересечение; 5 — воздушная стрелка схождения; 6 — заездной карман; 7 — посадочная площадка



§ 6.3. Пропускная способность перекрестков

Наряду с остановочными пунктами критическими точками транспортной сети могут быть пересечения транспортных линий в одном уровне — перекрестки. Пропускная способность регулируемых перекрестков (поездов/ч)

$$P_{\text{пер}} = (3600/T_{\text{ц}}) [(t_{\text{з}} - a)/t_{\text{ц}}], \quad (6.16)$$

где $T_{\text{ц}}$ — продолжительность цикла светофорного регулирования, с; $t_{\text{з}}$ — длительность горения разрешенной (зеленой) фазы для рассматриваемого направления движения; a — отрезок времени между моментом включения зеленой фазы и пересечением стоп-линии первым поездом;

$$t_{\text{ц}} = (l_{\text{п}} + l_{\text{б}})/v_{\text{р}} \quad (6.17)$$

— разрешенный интервал между поездами; $l_{\text{п}}$ — длина поезда; $l_{\text{б}}$ — зазор безопасности между поездами; $v_{\text{р}}$ — разрешенная Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) скорость движения поездов на перекрестке.

Первый сомножитель (6.16) определяет число циклов светофорного регулирования в часе, второй — количество поездов, которое может быть пропущено через перекресток за один цикл светофорного регулирования. Произведение их определяет количество поездов, которое может быть пропущено через перекресток за час (в одном направлении), т. е. пропускную способность перекрестка.

На рис. 6.6 показан перекресток правостороннего движения, принятого в СССР и большинстве зарубежных стран. Каждое направление движения на нем ограничивается стоп-линиями C . Длина перекрестка определяется между стоп-линиями: для движения прямо $l_{\text{пр}}$, для движения направо $l_{\text{п.п}}$ и для движения налево $l_{\text{л.п}}$. Всего такой перекресток мо-

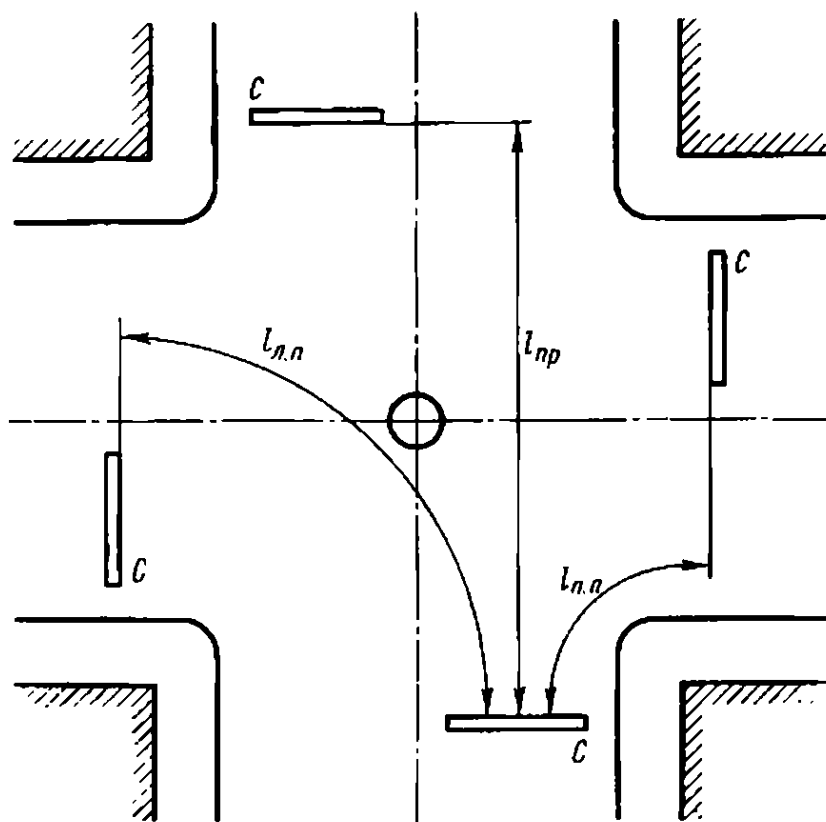


Рис. 6.6

Четырехсторонний перекресток

жет обслуживать 12 направлений движения — по три с каждой примыкающей улицы.

Основное влияние на пропускную способность перекрестка оказывает продолжительность цикла светофорного регулирования $T_{\text{ц}}$ и доля, в ней разрешенного сигнала t_3 . Желательно, чтобы $T_{\text{ц}}$ было возможно меньше, а t_3 больше и соответствовало интенсивности движения для рассматриваемого направления. Стремление уменьшения $T_{\text{ц}}$ связано с тем, что с ростом его увеличивается среднее время задержек транспорта у перекрестков

$$t_{\text{о.к.п}} = 0,5 (T_{\text{ц}} - t_3), \quad (t_{\text{о.к.п. мин}} = 0; \quad t_{\text{о.к.п. макс}} = T_{\text{ц}} - t_3). \quad (6.18)$$

В настоящее время применяют 40-, 50-, 60-, 70-, 80-, 90- и 100-секундные циклы регулирования, причем наиболее оптимальными считают 40- и 50-секундные. В зависимости от типа перекрестка и принятой организации движения на нем циклы регулирования могут быть и простейшими двухтактными и сложными многотактными с дополнительными секциями. На рис. 6.7 показаны схемы двухтактного *а*, трехтактного *б* и четырехтактного *в* регулирования четырехстороннего перекрестка.

Для двухтактного регулирования $T_{\text{ц}} = 3_1$ (прямо 1—1, правый поворот 1—2 и левый 1—2 по методу «просачивания») + $Ж_1 + 3_{II}$ (прямо 2—2, правый поворот 2—1 и левый поворот 2—1 по методу «просачивания») + $Ж_{II}$. Левый поворот по методу просачивания осуществляется в свободные промежутки между транспортными средствами, движущимися прямо.

Для трехтактной схемы $T_{\text{ц}} = 3_1$ (прямо 1—1) + $Ж_1 + 3_{II}$ (прямо 2—2) + $Ж_{II} + 3_{III}$ (правый поворот 1—2 и левый поворот 1—2, правый поворот 2—1) + $Ж_{III}$. Схема допускает левые повороты только с главных направлений.

Для четырехтактного регулирования $T_{\text{ц}} = 3_1$ (прямо 1—1) + $Ж_1 + 3_{II}$ (прямо 2—2) + $Ж_{II} + 3_{III}$ (левый поворот 1—2 и правый поворот

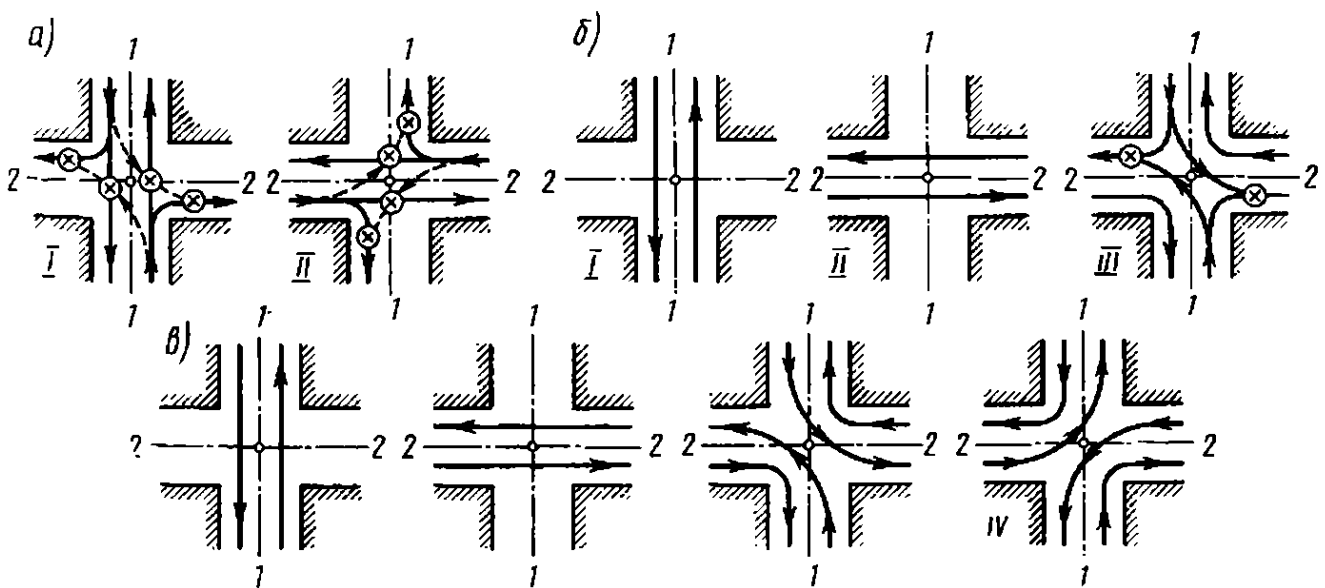


Рис. 6.7

Схемы движения через перекресток при различных схемах светофорного регулирования

2—1) + $J_{III} + 3_{IV}$ (правый поворот 1—2 и левый поворот 2—1) + J_{IV} . В этих формулах 3 — зеленая фаза, разрешающая указанные направления движения; Ж — желтая фаза, которая вводится в светофорный цикл для освобождения перекрестка от транспортных средств, въехавших на него, но не успевших пройти за время разрешенной фазы.

Чем сложнее светофорный цикл, тем меньше для него отношение t_3/T_n в заданном направлении движения и соответственно ниже пропускная способность. Поэтому одним из основных методов повышения пропускной способности перекрестков является упрощение их светофорного цикла за счет уменьшения количества разрешенных направлений движения, особенно левоповоротного, требующего длительной разрешенной фазы. Наиболее простой и короткий — двухтактный цикл, обеспечивающий максимальную пропускную способность перекрестка. Его можно применять лишь при небольшом проценте левоповоротного движения и неполном использовании пропускной способности для движения прямо. Недостаток этого цикла — сравнительно высокий коэффициент аварийности, связанный с большим количеством конфликтных точек, показанных на рис. 6.8 крестиками в кружочках.

Наиболее высокий уровень транспортного обслуживания дает четырехтактный цикл, так как обеспечивает развязку транспортных потоков по всем направлениям, причем без конфликтных точек. Его недостаток — большая длительность и связанная с этим низкая пропускная способность. В реальных условиях схемы светофорного регулирования выбирают с учетом характера и интенсивности движения через перекресток.

Определим пропускную способность трамвайного перекрестка при $T_n = 60$ с, $t_3 = 25$ с, $l_n = 15$ м, $l_6 = l_n$ и разрешенной скорости движения поездов через перекресток $v_p = 5$ км/ч = 1,4 м/с. Разрешенный интервал между поездами $t_n = (l_n + l_6) / v_p = 2 \cdot 15 / 1,4 = 21,4$ с. Принимая $a = 3$ с, получим активную часть разрешенной фазы $t_3 - a = 25 - 3 = 22$ с.

Следовательно, за один цикл регулирования через перекресток может быть пропущен только один поезд и пропускная способность перекрестка $P = (3600 / T_n) [(t_3 - a) / t_n] = (3600 / 60) \cdot 1 = 60$ поездов/ч. Эта величина пропускной способности меньше пропускной способности лимитирующих остановочных пунктов. Иначе говоря, лимитирующими точками транспортной сети могут быть не только остановочные пункты, но и перекрестки.

Для повышения пропускной способности перекрестков в расчете на требующуюся интенсивность движения МПТ необходимо увеличивать время t_3 с тем, чтобы за один светофорный цикл через перекресток можно было пропустить не один, а два-три поезда. Но это приводит к увеличению длительности цикла регулирования T_n , времени задержки транспорта у перекрестка и уменьшению его пропускной способности. Пропускная способность перекрестков для автобусов в 2,5 раза, а для троллейбусов в 3 раза ниже, чем для легковых автомобилей, для трамвая она еще ниже из-за большой длины трамвайных поездов, требований снижения скорости движения по кривым и стрелкам до 5 км/ч, несовпадения парности со встречными поездами по направлениям и запрещения Правилами технической эксплуатации въезда на стрелку до прохода встречным поездом ее крестовины. Линии МПТ желательно

трассировать с возможно более полным исключением поворотного движения на перекрестках.

Основными путями повышения пропускной способности перекрестков являются:

1. Оптимизация светофорного цикла с целью полного использования каждой фазы в соответствии с фактической интенсивностью движения по направлениям.

В настоящее время применяют три основные системы светофорного регулирования: ручное, жесткий светофорный цикл авторегулирования и системы гибкого авторегулирования.

Ручное регулирование движения регулировщиками обеспечивает хорошее использование светофорного цикла, но оно требует большого штата регулировщиков и возможности его воздействия на движение ограничены тем, что регулировщик не может учесть транспортной ситуации за пределами своего перекрестка.

Жесткое светофорное авторегулирование с наперед заданным (меняющимся только по периодам суток) циклом дешевле, но менее эффективно по использованию светофорного цикла.

Прогрессивны системы автономного гибкого автоматического светофорного регулирования, требующие использования детекторов, накапливающих информацию о транспортных потоках, подходящих к перекрестку, и логических устройств для ее анализа и определения нужного чередования и длительности фаз цикла регулирования движения. Недостаток систем гибкого автономного авторегулирования, как и ручного, состоит в том, что они учитывают транспортную ситуацию только в районе «своего» перекрестка. Наиболее совершенны и обеспечивают максимальный эффект регулирования, но дороги системы координированного телеавтоматического управления движением в транспортных районах города или всей городской транспортной сети, например системы «Изумруд» и «Старт», проходящие испытания в Москве.

2. Правильное расположение у перекрестков остановочных пунктов МПТ. При небольшой интенсивности движения остановочные пункты МПТ по соображениям снижения затрат времени пассажиров на пересадки в пределах перекрестка целесообразно приближать к стоп-линиям С (рис. 6.8, а). Но при этом уменьшается пропускная способность и пере-

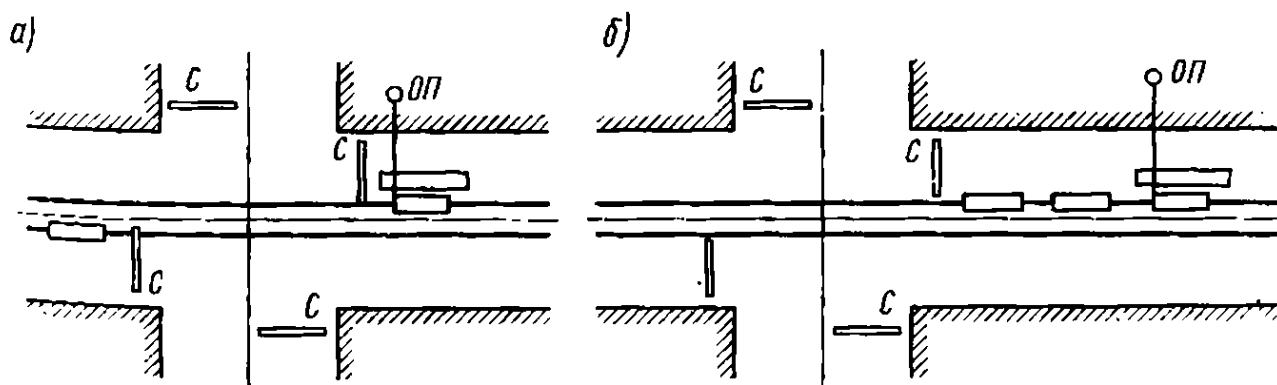
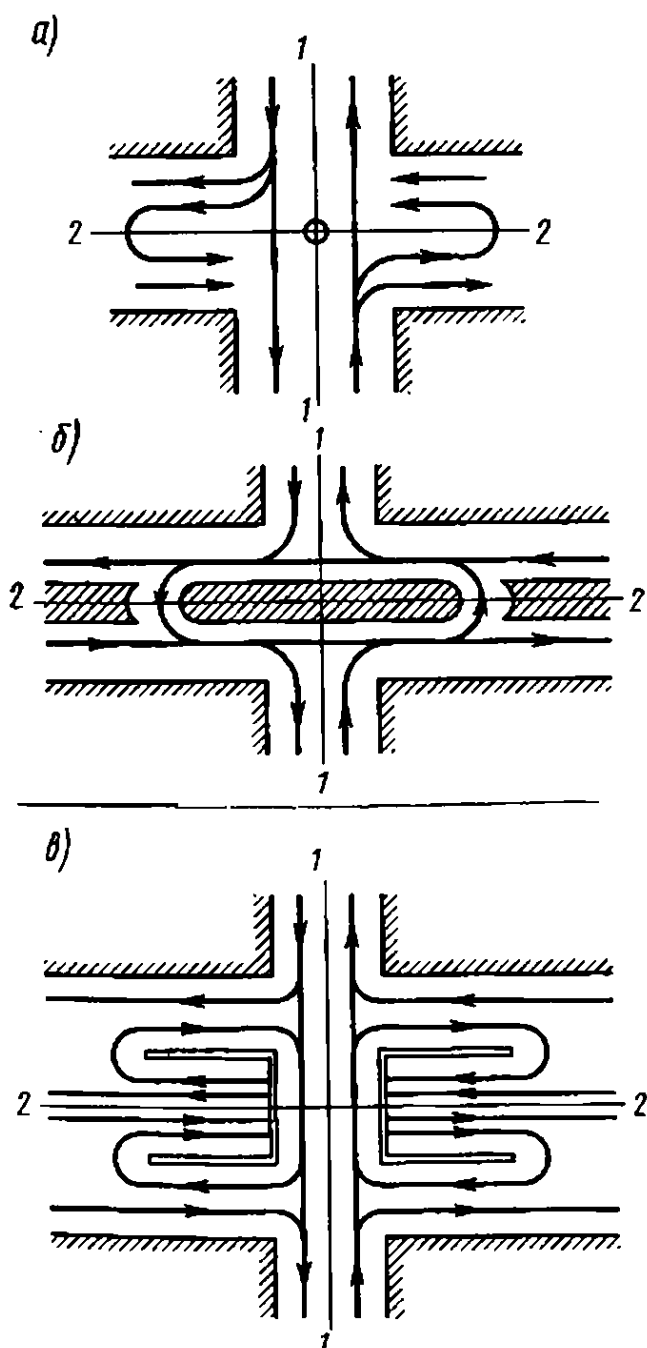


Рис. 6.8

Расположение остановочных пунктов трамвая у перекрестка

крестка, и остановочного пункта *ОП*, так как интервал следования поездов через перекресток увеличивается до интервала следования поездов через остановочный пункт, а интервал следования поездов через остановочный пункт — на величину среднего времени задержек транспорта у перекрестка $t_{ож.п.}$. Чтобы обеспечить требуемую пропускную способность перекрестка, остановочный пункт относят в глубину проезда так, чтобы между стоп-линией и остановочным пунктом могла накапливаться «пачка» поездов в ожидании сигнала светофора, разрешающего движение. Например, если за один цикл регулирования через перекресток нужно пропустить два поезда, то остановочный пункт должен быть отнесен в глубь проезда так, чтобы между ним и стоп-линией размещалось не менее двух поездов (рис. 6.8, б). При этом необходимо не превышать допустимых расстояний пешеходных переходов пассажиров между ОП различных направлений движения при пересадках, которые в соответствии с нормами СНиП [35, п. 8.17] должны быть не более 200 м.



3. Упрощение светофорного цикла за счет ликвидации специальных фаз для отдельных направлений движения (главным образом левоповоротного) путем передачи их на параллельные менее загруженные проезды или вынесения за центр перекрестка в глубину проездов. Примером таких решений является перекресток с вынесенным левоповоротным движением на направлении 1–2 (рис. 6.9, а). Ликвидация отдельных фаз светофорного цикла позволяет уменьшить общие задержки транспорта у перекрестков и повысить их пропускную способность.

4. Организация движения на перекрестках по принципу саморегулирования. Такая система организации движения обычна для перекрестков с небольшой интенсивностью движения. Очередность движения транспортных средств через нерегулируемый перекресток устанавливается Пра-

Рис. 6.9

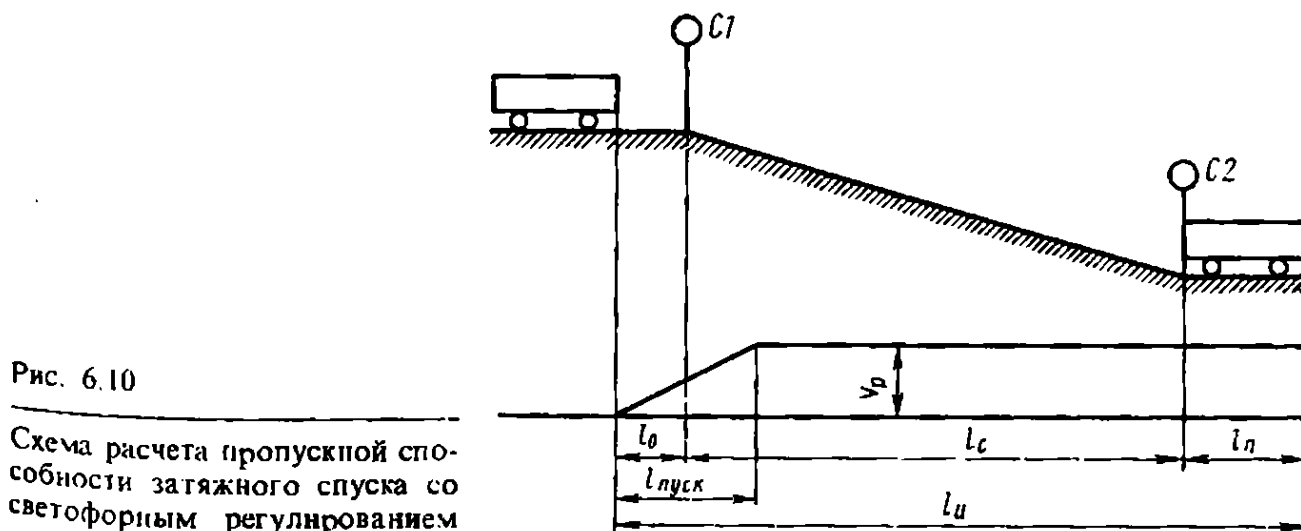
Схемы организации движения на перекрестке с ликвидацией левоповоротного движения и развязкой транспортных потоков по принципу саморегулирования

вилами дорожного движения (ПДД). Для перекрестков с интенсивным движением саморегулирование не допускается, так как отличается повышенной опасностью дорожно-транспортных происшествий и низкой пропускной способностью. Тем не менее его с успехом применяют в ряде случаев, например на пересечениях двух улиц резко различных категорий (рис. 6.9, б). Сквозное движение во второстепенном направлении 1—1 при этом исключается, но зато на главном направлении 2—2 обеспечивается возможность непрерывного движения транспортного потока.

5. Устройство пересечений в разных уровнях. Этот метод — наиболее радикальное средство для повышения пропускной способности лимитирующих перекрестков с доведением ее до пропускной способности магистрали непрерывного движения. Применение его ограничивается высокой стоимостью транспортных сооружений. Один из примеров пересечений с развязкой транспортных потоков в разных уровнях показан на рис. 6.9, в. Движение здесь организовано по принципу саморегулирования. Пересекающиеся транспортные потоки 1—1 и 2—2 развязываются в разных уровнях. Правые повороты организованы по обычной схеме, а левые — вокруг рамы тоннеля или эстакады. Применяют и другие схемы транспортных развязок в разных уровнях.

§ 6.4. Пропускная способность затяжного спуска, ограниченного светофорами

В городах с холмистой топографией линии МПТ часто приходится трассировать с большими уклонами. В этих условиях их необходимо проверять на пропускную способность затяжных спусков и в случаях, когда она оказывается недостаточной, изыскивать возможности ее повышения или ликвидации лимитирующих точек. Рассмотрим методику расчета пропускной способности затяжного уклона, требующего по условиям безопасности организации движения с пропуском одного поезда и светофорным регулированием (рис. 6.10). В ожидании сигнала, разрешающего движение, поезд останавливается перед светофором С1 на некотором расстоянии $l_0 = 3 \div 5$ м. При длине уклона l_c интервал



между поездами

$$t_{\text{п. мин}} = t_p + t_{\text{пуск}} + t_v, \quad (6.19)$$

где $t_p = 2 \div 3$ с — время реакции водителя на сигнал светофора $C1$, разрешающего движение; $t_{\text{пуск}} = v_p/a_n$ — время разгона поезда с ускорением a_n до разрешенной на спуске скорости v_p (для трамвайного движения на уклонах более 30‰ $v_p = 15$ км/ч в весенне-летний период и $v_p = 10$ км/ч в осенне-зимний период); $t_v = (l_o + l_c + l_n - l_{\text{пуск}})/v_p$ — время движения поезда на спуске с разрешенной скоростью v_p ; $l_{\text{пуск}} = v_p^2/(2a_n)$.

Таким образом,

$$t_{\text{п. мин}} = t_p + v_p/a_n + (l_o + l_c + l_n - l_{\text{пуск}})/v_p = t_p + \\ + (l_o + l_c + l_n)/v_p + v_p/(2a_n). \quad (6.20)$$

Принимая $l_n = 15$ м; $l_c = 200$ м; $l_o = 5$ м; $t_p = 3$ с; $v_p = 10$ км/ч (2,78 м/с) и $a_n = 1$ м/с², получим

$$t_{\text{п. мин}} = t_p + (l_o + l_c + l_n)/v_p + v_p/(2a_n) = \\ = 3 + (5 + 15 + 200)/2,78 + 2,78/(2 \cdot 1) = 3 + 79,2 + 1,4 = 84 \text{ с.}$$

Пропускная способность спуска $P_c = 3600/t_{\text{п. мин}} = 3600/84 = 45$ поездов/ч.

Полученная пропускная способность затяжного спуска сравнительно мала. Если она при заданной интенсивности движения оказывается недостаточной, то возможны только два решения: устройство эстакады, перекрывающей спуск, или изменение транспортной сети и маршрутной схемы (отвод части маршрутов на обходные направления или разрыв их, даже если это осложняет пересадку и создает неудобства для пассажиров). Аналогично рассчитывают и решают вопросы повышения пропускной способности путепроводов с односторонним движением, мостов, железнодорожных переездов, конечных станций маршрутов и других конфликтных точек транспортной сети.

Глава 7

МАРШРУТЫ И МАРШРУТНЫЕ СИСТЕМЫ ГМТТ

§ 7.1. Классификация и оборудование маршрутов

Маршрутом называют участок городской транспортной сети, специально оборудованный для беспересадочной перевозки пассажиров прикрепленными на этот участок поездами. Маршрут — первичная ячейка всех видов маршрутного ГПТ (трамвая, троллейбуса, автобуса, метрополитена и др.). Все городские пассажироперевозки осуществляются МПТ на маршрутах, вся организация движения сводится к обеспечению регулярности и бесперебойности движения на них поездов. Различают маршруты:

по видам транспорта — автобусные, троллейбусные, трамвайные и др.;

по характеру оборота подвижного состава — с оборотом на конечных станциях (маятниковые) и без оборота на конечных станциях (кольцевые). У маятниковых маршрутов (рис. 7.1, а) оба направления движения 1 и 2 обслуживаются одними и теми же поездами, а у кольцевых (рис. 7.2, б) — каждое направление своими поездами;

по совмещению направлений движения на городских проездах — с двусторонним движением (рис. 7.2, а) и с односторонним движением (рис. 7.2, б);

по конфигурации (расположению на плане города) — радиальные, диаметральные, хордовые, кольцевые, радикально-дуговые, продольные, поперечные, диагональные, угловые и др. Радиальные маршруты 1 в городах с радиально-кольцевой схемой транспортной сети (рис. 7.3, а) связывают периферийные районы с городским центром; диаметральные 2 — периферийные районы через городской центр; хордовые 5 — периферийные районы, минуя центр; кольцевые 4 — периферийные районы в обход городского центра; радиально-угловые 3 — периферийные зоны с центрами транспортного тяготения по радиальным и кольцевым направлениям. Продольными 6 в городах с прямоугольной схемой улично-дорожной сети (рис. 7.3, б) называют маршруты, проходящие по улицам вдоль вытянутой стороны города, поперечными 7 — проходящие вдоль короткой стороны города, диагональными 8 — проходящие по диагональным направлениям, угловыми 9 — соединяющие периферийные районы узкой и широкой сторон города по продольным и поперечным направлениям;

по классу транспортных связей в городе — местные, обслуживающие внутрирайонные пассажироперевозки, межрайонные, связывающие различные районы города между собой, центральные, обслуживающие пассажироперевозки в городские центры, пригородные и междугородные;

по классу пассажироперевозок — основные (обычно межрайонные) и вспомогательные — подвозящие (собирающие) и развозящие, предназначенные для подвоза пассажиров от пунктов отправления к основным маршрутам и развоза от них к пунктам назначения. Основными

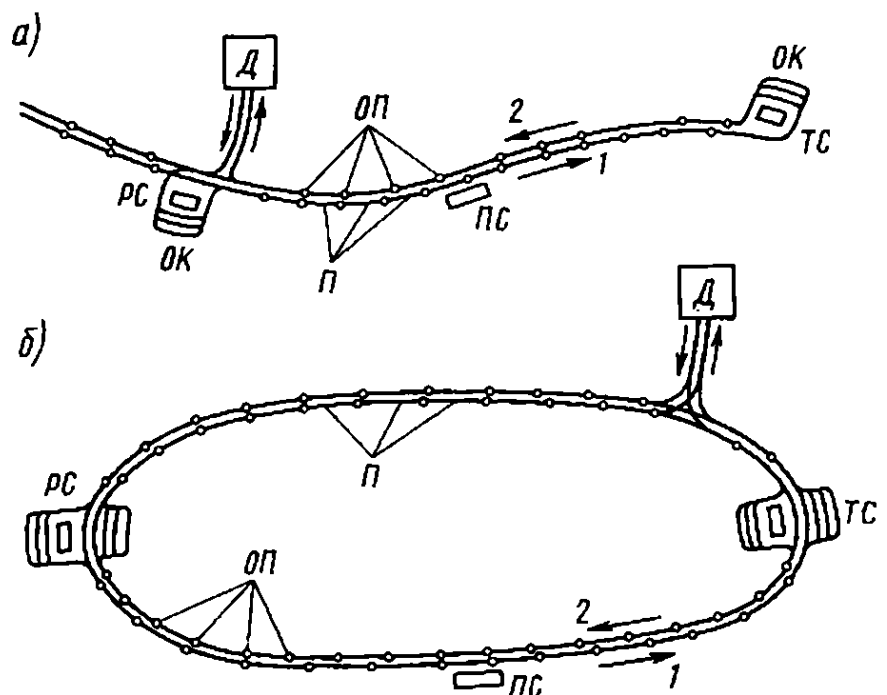


Рис. 7.1

Схемы маятникового (а) и
кольцевого (б) маршрутов

считают обычно маршруты скоростного транспорта большой провозной способности, вспомогательными — внутрирайонные маршруты ГПТ небольшой провозной способности;

по частоте остановок — нормальные (обычные) с частыми остановками (со всеми остановками), экспрессные с остановками только на конечных станциях и полуэкспрессные с редкими остановками у главных пассажирообразующих пунктов;

по режиму работы — постоянные и временные, назначаемые на определенные часы суток, дни недели, сезоны года или другие периоды времени;

по длине — нормальные (основные), укороченные и удлиненные. Длину нормальных маршрутов принимают так, чтобы время движения по маршруту между конечными станциями составляло около одного часа;

по интервалу между поездами — с частым движением (интервал движения не превышает 10 мин) и с редким движением (интервал движения более 10 мин).

Элементы маршрутов показаны на рис. 7.1. Остановочными пунктами *ОП* маршрут разделен на перегоны *П*. Оборотные кольца *ОК* предназначены для оборота поездов (перевода их на обратное направление движения) в конечных точках маятниковых маршрутов. На кольцевых маршрутах нет оборотных колец *ОК*. Для контроля и регулирования движения по концам маршрутов оборудуют распорядительные *РС* и технические *ТС* станции, а в промежуточных контрольных точках — промежуточные станции *ПС*. Поезда для обслуживания пассажироперевозок выпускают на маршруты прикрепленные депо *Д* через оборотные кольца *ОК* или через какую-либо промежуточную точку маршрута в зависимости от его связи с транспортной сетью.

Остановочные пункты *ОП* маршрутов оборудуют остановочными указателями (рис. 7.4), навесами или павильонами для пассажиров (рис. 7.5), посадочными площадками (рефюжи) и заездными карманами (см. рис. 6.6). Остановочные указатели (рис. 7.4) имеют знак вида ГПТ (трамвай, троллейбус, автобус) и дают пассажиру краткую информацию о названии остановки, номерах проходящих через нее маршрутов, характере остановки (постоянная, по требованию, временная), интервалах между поездами в часы пик, наименовании конечных пунктов маршрутов и др. На остановочных указателях маршрутов с редким движением дают расписание движения. Поезда трамвая останавливаются у оста-

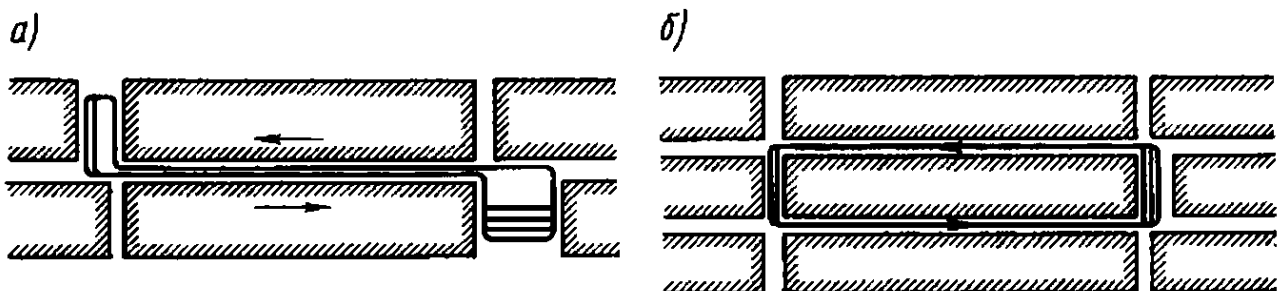


Рис. 7.2

Маршруты с двусторонним (а) и односторонним (б) движением на уличных проездах

новочного знака (указателя) *У* передней площадкой, а троллейбусы и автобусы — задней площадкой или проезжают его на 2—3 м (рис. 7.6, *а*).

Навесы, павильоны и скамейки для ожидающих пассажиров устанавливают на остановочных пунктах во всех случаях, когда они не мешают движению транспорта и пешеходов, т. е. на магистралях с широкой проезжей частью. Они могут быть стационарными и переносными. Посадочные площадки (рефюжи) высотой 15 см и более устраивают на остановочных пунктах в тех случаях, когда это допускают условия планировки. Они четко обозначают остановочный пункт, уменьшают затраты времени на пассажирообмен и обеспечивают большую безопасность пассажиров. На широких магистралях с интенсивным движением автотранспорта и МПТ к посадочным площадкам трамвая и других видов МПТ, трассируемых по средней линии улиц, устраивают подземные пешеходные переходы (рис. 7.6, *а*). Здесь: 1 — тротуар; 2 — проезжая часть; 3 — стоящий у остановочного знака *У* на остановочном пункте подвижной, состав безрельсового МПТ; 4 — посадочная площадка на остановочном пункте трамвая; 5 — стоящий на остановочном пункте трамвайный поезд; 6 — лестница между подземным переходом 7 и посадочной площадкой 4; 7 — подземный переход через улицу и к остановочному пункту трамвая; 8 — лестница между подземным переходом 7 и тротуаром 1.

На узких улицах, где посадочные площадки мешают и создают опасность для движения автотранспорта, их заменяют ограничительной белой полосой 9 (рис. 7.6, *б*). Пешеходы при посадке и высадке переходят проезжую часть 2, автотранспорт 10 ожидает конца посадки и трогается только после отправления поезда 5. При этом МПТ сильно задерживает автомобильный поток и ограничивает его скорость.

Оборотные кольца *ОК* устраивают по концам маятниковых маршрутов для оборота и отстоя поездов во время отдыха поездных бригад. Размещение и привязка *ОК* к транспортной сети зависит от требующейся емкости и местных планировочных условий. На рис. 7.7 показаны схемы тупикового (*а*) и проходного (*б*) оборотных колец. Здесь: 1 — оборотное кольцо; 2 — отстойные пути; 3 — помещение конечной станции; 4 — остановочные пункты; 5 — запасной тупиковый путь. Конечные *ОК*

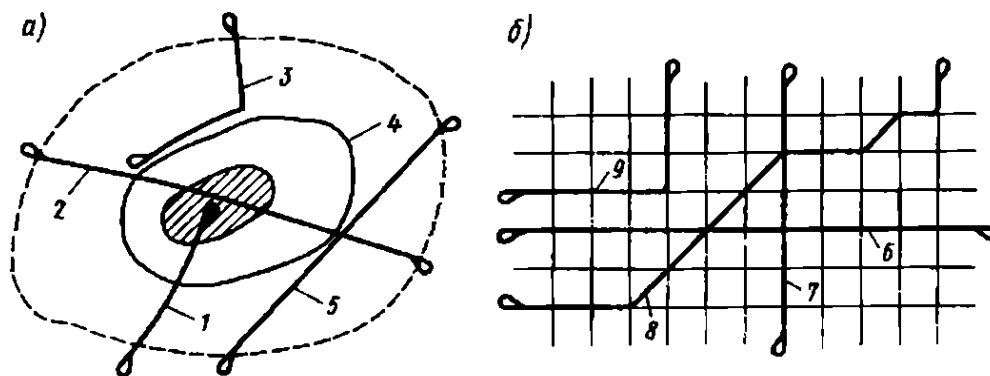


Рис. 7.3

Конфигурация маршрутов при радиально-кольцевой (*а*) и прямоугольной (*б*) схемах транспортных сетей

устраивают на специально предусмотренных площадках. На автобусных и троллейбусных маршрутах при отсутствии специальных площадей оборот подвижного состава в ряде случаев производят вокруг кварталов жилой или другой застройки (рис. 7.7, в и г). Расположение оборотного кольца l выбирают из условий минимального мешающего влияния оборачивающегося подвижного состава на остальное городское движение.

Количество отстойных путей $n_{o.п}$ для конечных станций трамвая принимают по числу обслуживаемых маршрутов s плюс один обгонный путь:

$$n_{o.п} \geq s + 1. \quad (7.1)$$

Требуемое количество мест на отстойном пути определяют из расчета максимального количества поездов, находящихся на отстое во время обеденных перерывов поездных бригад. Если на маршруте работает N поездов, период обеденных перерывов $T_{об}$ (обычно 2,5 ч), время обеденного перерыва поездной бригады $t_{об}$ (обычно $t_{об} = 0,5$ ч), то требуемое количество мест на маршрутном отстойном пути

$$K = Nt_{об}/T_{об}. \quad (7.2)$$

По принятым норме площади $f_{o.п}$ для отстоя одной машины, выпуску N машин на маршрут и коэффициенту $k_{об}$ одновременности отстоя машин на оборотном кольце в долях выпуска определяют площадь развотноотстойных площадок троллейбусов и автобусов

$$F_{o.п} = Nk_{об}f_{o.п}. \quad (7.3)$$

Для троллейбусов $f_{o.п} = 42 \text{ м}^2$ и $k_{об} = 0,3$.

На оборотных кольцах размещают конечные станции — РС и ТС.

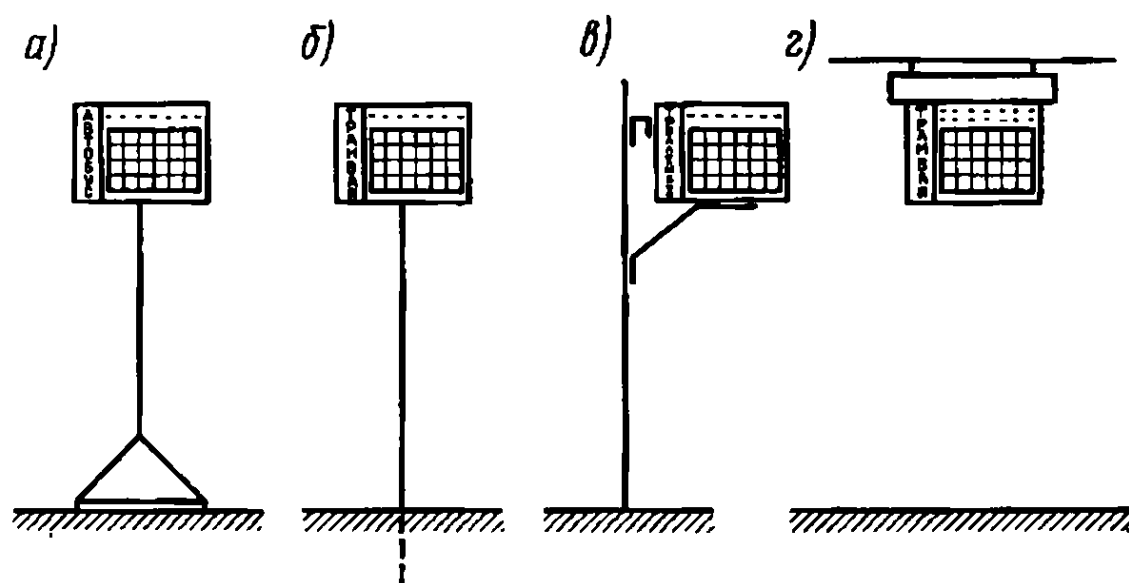


Рис. 7.4

Остановочные указатели:

а — переносный, б — стационарный на стойке-трубе; в — навесной на опоре контактной сети или стене здания; г — подвесной на тросе-поперечине

Они принимают и отправляют поезда по расписанию, контролируют и регулируют движение поездов. На РС находится начальник маршрута, отвечающий за всю организацию движения на нем; ТС контролирует и регулирует движение поездов на маршруте по указаниям РС.

Конечные станции встраивают в бытовые и служебные здания близлежащей застройки и лишь при их отсутствии устраивают в специальном здании (рис. 7.8). Конечная станция должна иметь диспетчерскую 1, комнату отдыха 8 для поездных бригад, буфет 6 и комнату для принятия пищи 7, комнату начальника маршрута 2 (на РС) или начальника станции (на ТС), помещение 4 и кладовую 5 линейных слесарей и бытовые помещения 3 (санузел). По фасаду и боковым сторонам здания конечной станции прикрепляют навес 9 для пассажиров. Общая площадь помещений конечной станции составляет $\approx 100\text{—}140\text{ м}^2$. Из диспетчерской должен быть хороший обзор путей приема, отстоя и отправления поездов, а из комнаты отдыха поездных бригад — площадок для отстоя поездов.

Для контроля и регулирования движения на маршруте конечные станции оборудуют радиотелефонной связью с промежуточными станциями и районным диспетчером, наружными и внутренними электрочасами, контрольными штамп-часами или радиоэлектронными устройствами для отметки времени прибытия поездов, световой и звуковой сигнализацией отправления поездов, громкоговорителями.

На коротких маршрутах часто организуют только одну конечную станцию с обслуживающим персоналом — распорядительную РС, а на другом конце ставят контрольные штамп-часы для отметки времени прибытия поездов. На длинных маршрутах, требующих повышенной регулярности движения поездов, организуют промежуточные станции ПС. Специальные радиоэлектронные устройства или диспетчер ПС контролируют регулярность движения поездов по установленному интервалу или по действующему расписанию и осуществляют то или другое регулирование движения. Обычно ПС ставят в узлах транспортной сети с целью контроля движения сразу нескольких маршрутов. Промежуточная станция представляет собой будку, оборудованную отоплением, освещением, наружными и внутренними электрочасами,

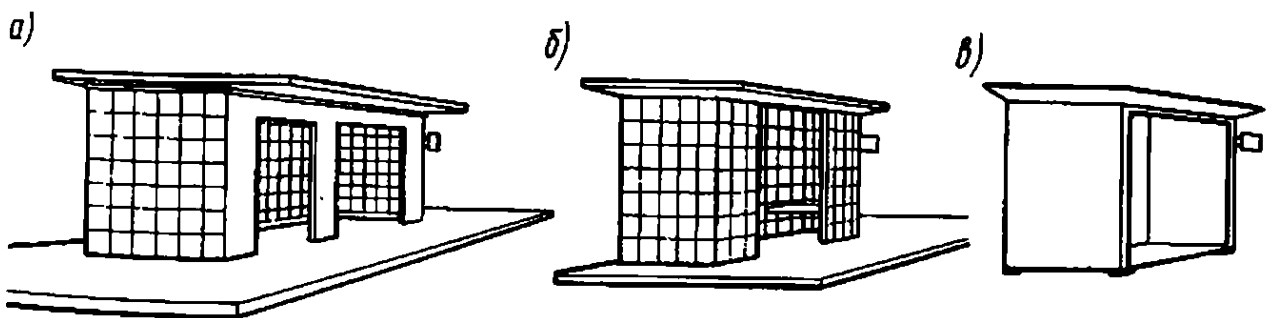


Рис. 7.5

Навесы и павильоны для ожидания пассажиров:

а, б — стационарные; в — переносный

телефонами со световым или звуковым вызовом. Из будки ПС должны быть хорошо видны номера маршрутов проходящих поездов.

Следует отметить, что оборудование маршрутов определяется системой организации движения. При обычной системе диспетчерского руководства движением оно просто, но сама эта система недостаточно оперативна. Внедрение сплошной радиофикации поездов для непосредственной связи с центральным диспетчерским пунктом (ЦДП) и систем автоматического контроля движения с датчиками сбора информации о движении и ЭВМ для ее обработки существенно меняет задачи диспетчерского аппарата и оборудование маршрутов. В настоящее время активно внедряют автоматизированные системы контроля и управления движением с использованием ЭВМ.

§ 7.2. Линейный паспорт и технологическая карта маршрута

Каждый маршрут характеризуется своими эксплуатационными условиями, параметрами трассы, конструкцией и техническим состоянием путей, интенсивностью и организацией движения, размещением остановочных пунктов и др. Для эксплуатационной характеристики маршрутов на них составляют техническую документацию, основой которой являются линейный паспорт и технологическая карта маршрута. На основании этих документов исследуют и решают различные задачи организации движения на маршрутах, в частности их используют при составле-

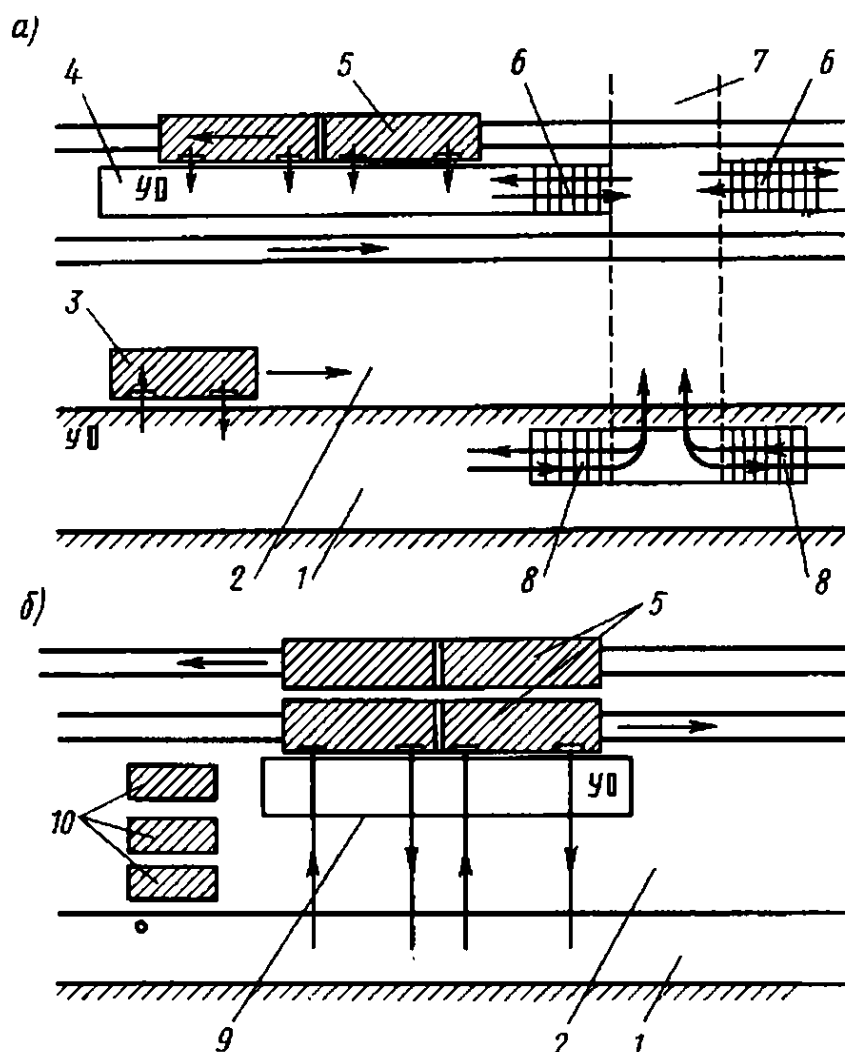


Рис. 7.6

Переход к остановочным пунктам трамвая при трассировке линий вдоль оси улиц:

" — через подземный переход; б — через проезжую часть улицы

нии основного документа, нормирующего движение на маршруте, — расписания движения. Единой формы линейного паспорта нет. Предпочтительнее те из них, которые отличаются наглядностью.

Линейный паспорт маршрута должен иметь бланк, на котором в масштабе 1:5000 (1 см = 50 м) наносят трассу маршрута со всеми характерными точками: остановочными и контрольными пунктами, перекрестками, светофорами, сигнальными знаками, стрелками, границы участков с разными условиями эксплуатации (разными уклонами профиля, шириной проезжей части, типами дорожной одежды и др.). В соответствующих разделах линейного паспорта указывают названия всех улиц и площадей, отмечают их границы, вычерчивают характерные поперечные профили улиц и отмечают границы резких изменений поперечного профиля, мостов, путепроводов и тоннелей, прямых и кривых участков трассы, их радиусы, углы и направления поворота трассы, продольные уклоны.

По шкале скоростей на координатной сетке $v(l)$ в паспорте маршрута наносят все ограничения скоростей по отдельным пунктам и участкам маршрута в соответствии с ПТЭ, ПДД и другими документами, строят кривые движения $v(l)$ и $l(t)$, отмечают участки с различным составом и частотой движения сопутствующего транспорта и дают характеристику этих участков (состав и размеры движения на них, места стоянок, скопления транспорта и пешеходов и др.).

Для составления линейного паспорта маршрута используют данные технического проекта ГПТ и натурные обследования, которые особенно необходимы для точного определения длины маршрута и уточнения действительных условий движения.

Технологическая карта маршрута. Составляют ее на основе линейного паспорта и используют для обучения водителей рациональным режимам вождения поездов. В ней находят отражение результаты тяго-

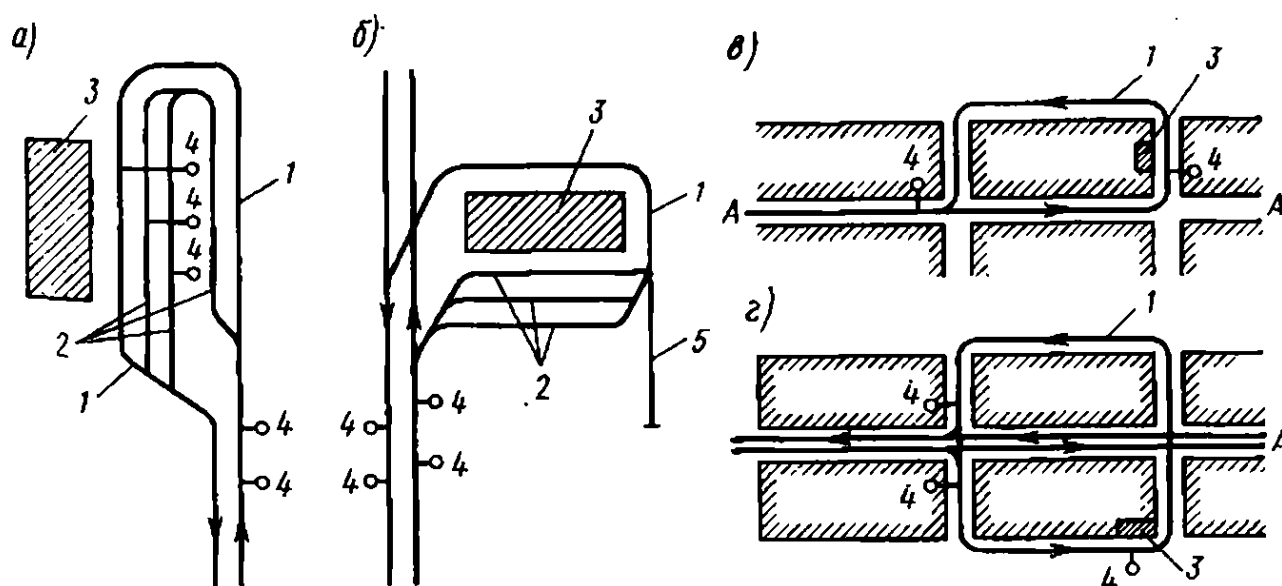


Рис. 7.7

Схемы оборотных колец ГМПТ

вых расчетов и хронометражных наблюдений за движением на маршруте; обобщения опыта работы передовых водителей; основные методические установки, дополняющие и уточняющие служебные инструкции и ПТЭ в связи с особенностями движения на маршруте (рекомендуемые режимы движения в разных погодных условиях, указывают режимные знаки и др.).

§ 7.3. Критерии оптимизации и основные характеристики маршрутных систем

Маршрутной системой называют увязанную территориально и во времени совокупность маршрутов всех и отдельных видов ГПТ, обслуживающих городские пассажироперевозки в пределах заданной транспортной сети. Под *территориальной увязанностью маршрутной системы* понимают согласованное с осваиваемыми пассажироперевозками размещение на плане города маршрутов какого-либо одного и разных видов ГПТ, их конечных станций, остановочных пунктов и других линейных сооружений; под *увязанностью во времени* — согласование режимов работы маршрутов во времени и расписаний движения поездов, обслуживающих разные маршруты.

Главная особенность маршрутных систем как объекта исследования в теории городских пассажирских перевозок — их комплексный характер, необходимость системного изучения маршрутных систем как единого целого. В комплексной маршрутной системе городского МПТ различают дочерние маршрутные системы отдельных видов ГПТ: трамвая, троллейбуса, автобуса, метрополитена и др., но изолированное проектирование и изолированный анализ этих маршрутных систем в принципе невозможны, так как не могут обеспечить оптимальное решение комплексной маршрутной системы. Маршрутная система ГПТ должна проектироваться, анализироваться и оптимизироваться только ком-

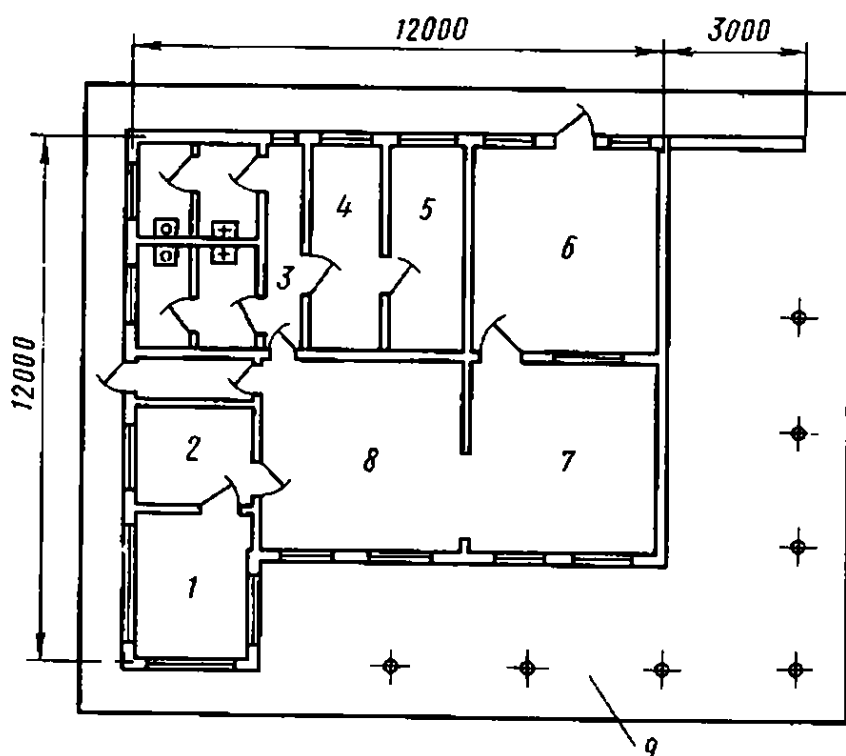


Рис. 7.8

Планировка типовой отдельно стоящей конечной станции

плексно или, как говорят, системно. При прочих равных условиях маршрутная система определяет и уровень (качество) транспортного обслуживания населения, и экономические показатели работы транспортных предприятий. Поэтому в транспортных хозяйствах организуют систематическое изучение маршрутной системы и постоянно корректируют ее для приведения в соответствие с осваиваемыми пассажироперевозками.

Вследствие большой сложности, единой теории проектирования маршрутных систем до сих пор не разработано. Проектируют и корректируют их в основном эвристическим методом сравнения вариантов по различным технико-экономическим критериям оптимизации. Маршрутная система должна отвечать следующим основным требованиям:

1) соответствовать пассажиропотоку по направлениям и обеспечивать такое принудительное распределение его по сети, при котором наилучшим образом обеспечивалась бы прямолинейность пассажиропоездов, беспересадочность, минимальное транспортное время и полное соответствие интенсивности движения пропускной способности всех участков транспортной сети;

2) быть оптимально координированной в пространстве и времени по внешним связям с системой пригородного и междугородского транспорта всех типов (железнодорожного, водного, воздушного и т. д.), внутренним связям отдельных видов ГПТ между собой (включая автотранспорт, в том числе индивидуального пользования), по связям транспортных районов отдельных видов МПТ, по связям маршрутов внутри отдельных видов ГПТ;

3) быть гибкой, т. е. не требовать больших капитальных затрат и эксплуатационных расходов, связанных с ее корректировкой и оптимизацией, необходимость в которых неизбежно возникает при территориальном развитии города, закрытии или открытии крупных предприятий и других действиях, вызывающих изменения пассажиропотоков. Необходимо также, чтобы маршрутная система допускала возможность корректировки в кратчайшие сроки и связанные с ней работы оказывали минимальное мешающее влияние на жизнедеятельность города;

4) обеспечивать максимально равномерное распределение пассажиропотока по длине маршрутов и во времени (в разные периоды движения) и требуемое саморегулирование распределения пассажиропотоков по маршрутам, районам движения и видам транспорта;

5) обеспечивать реализацию максимальной расчетной скорости сообщения и эксплуатационной скорости подвижного состава, возможность ее повышения за счет реорганизации движения (перевода маршрутов на режим экспрессного движения, гибкого регулирования его с использованием ЭВМ и проведения других мероприятий по совершенствованию системы организации движения). Главным условием обеспечения возможности реализации максимальных скоростей является такое проектирование маршрутной системы, которое обеспечивало бы максимальное исключение участков ограничения скорости движения и их влияния на скорость сообщения, минимальное мешающее влияние на работу маршрутного подвижного состава постороннего дорожного движения и возможность быстрого восстановления нарушенного движения;

6) позволять оптимизацию по критерию минимума общих затрат транспортного времени населения в передвижениях (прежде всего трудовых), т. е. обеспечивать наименьшую пересадочность сообщений, наименьший коэффициент непрямолинейности поездок, минимальный интервал между поездами, максимальную скорость сообщения;

7) допускать оптимизацию по критерию максимальной эксплуатационной экономичности, т. е. требовать максимально простой системы организации движения с применением по возможности средств АСУД, минимального штата линейных работников, обеспечивать минимальные нулевые пробеги и максимальное использование подвижного состава по вместимости в пределах, допускаемых требованиями комфортабельности транспортного обслуживания пассажиров;

8) обеспечивать оптимизацию по критерию минимума удельных капитальных вложений в конечные станции, остановочные пункты и другие линейные сооружения;

9) иметь по возможности полную увязку с городом по архитектурно-градостроительным и санитарно-гигиеническим требованиям, которые определяют выбор разных видов транспорта для магистралей разных классов и назначения, ограничивают расположение конечных станций и депо в пределах зон городской застройки и т. д.

Основным требованием к маршрутной системе является полная согласованность с характеристиками пассажироперевозок городского населения, которые требуют поэтому тщательного изучения и на стадии проектирования, и в процессе эксплуатации маршрутной системы. На стадии проектирования их определяют футуристическими расчетами на основе теоретических положений прогностики. В процессе эксплуатации маршрутных систем пассажироперевозки изучают методами натурного обследования, анкетными и опросными методами. Для решения задач развития маршрутных систем важное значение имеет анализ предложений пассажиров и линейных работников.

Основные характеристики маршрутных систем следующие.

Средняя длина маршрута $\bar{l}_m$. Ее подсчитывают по маршрутным сетям разных видов транспорта, отличающихся эксплуатационной скоростью:

$$\bar{l}_m = \sum^s l_m / s, \quad (7.4)$$

где $\sum l_m$ — сумма длин всех маршрутов рассматриваемого вида транспорта; s — общее количество маршрутов маршрутной системы.

Выше показано, что длина маршрута влияет на величину эксплуатационной скорости, коэффициент заполнения картограммы пассажиропотоков, использование подвижного состава по вместимости, режим работы поездных бригад по сменности, эксплуатационные расходы на организацию движения и другие важнейшие показатели работы транспортных предприятий.

Минимальная длина маршрута не должна быть меньше средней длины пассажиропоездки L_{cp} , а максимальная длина (км) должна быть равна примерно эксплуатационной скорости (км/ч):

$$l_{m. \min} \geq L_{cp}, \quad l_{m. \max} \approx v_s. \quad (7.5)$$

Необходимо, чтобы средняя длина маршрута $\bar{l}_m$ приближалась к максимальной $l_{m \text{ макс}}$.

Маршрутный коэффициент k_m (км/км). Этот коэффициент определяют как отношение суммы длин маршрутов к длине транспортной сети L_c (длине транспортных проездов, обслуженных линиями МПТ):

$$k_m = \sum l_m / L_c. \quad (7.6)$$

Маршрутный коэффициент показывает развитие маршрутной системы — число километров маршрутов, приходящихся в среднем на один километр длины транспортной сети. Маршрутный коэффициент — один из главных характеристик маршрутных систем, так как связан с такими основными характеристиками пассажироперевозок, как объем транспортной работы Q , эксплуатационная скорость $v_э$, маршрутный интервал t_n , плотность движения $n_{дв}$ (поездов на километр длины сети). Интервалы между поездами на маршрутах: средний километрический

$$l_n = 2 \sum l_m / N_{дв} \text{ и временной } t_n = l_n / v_э = 2 \sum l_m / (N_{дв} v_э).$$

Следовательно,

$$\sum l_m = 0,5 N_{дв} v_э t_n,$$

где $N_{дв}$ — количество подвижного состава в движении на маршрутах.

С другой стороны,

$$Q = N_{дв} m_p k_n v_э,$$

откуда

$$N_{дв} = Q / (m_p k_n v_э).$$

Следовательно, $\sum l_m = 0,5 N_{дв} v_э t_n = 0,5 Q t_n / (m_p k_n)$. Поэтому

$$k_m = \sum l_m / L_c = [N_{дв} / (2L_c)] v_э t_n = [Q / (2L_c)] [t_n / (m_p k_n)]. \quad (7.7)$$

Уравнение (7.7) показывает, что выбор величины маршрутного коэффициента k_m связан с плотностью движения $n_l = N_{дв} / (2L_c)$ (поездов на один километр длины транспортной сети в однопутном исчислении), объемом транспортной работы, приходящимся на один километр транспортной сети в однопутном исчислении, $q = Q / (2L_c)$ [пасс-км / (ч · км)], характеристиками использования подвижного состава по вместимости, зависящими от построения маршрутной системы и организации движения (среднесетевой коэффициент наполнения подвижного состава k_n), принятым средним маршрутным интервалом t_n и эксплуатационной скоростью $v_э$.

Развитие маршрутной системы должно соответствовать всем этим характеристикам. Связь между величиной маршрутного коэффициента и средним маршрутным интервалом показывает, что выбор величины маршрутного коэффициента k_m определяет среднее время ожидания пас-

сажиров на остановочных пунктах $t_{ож} = 0,5 t_{пер}$. Одновременно величина k_m определяет коэффициент пересадочности сообщений $k_{пер}$. Обе эти величины, $t_{ож}$ и $k_{пер}$, влияют на общие затраты транспортного времени населения в поездках (см. § 3.3).

Плотность движения МПТ в поездах на 1 км одиночного пути составляет в настоящее время в среднем по городам СССР для трамвайного движения около 2,7 вагонов/км, для троллейбусов и автобусов — 2 машин/км. Если принять на перспективу плотность движения $n_c = N_{дв} / (2L_c) = 3$ вагона/км, эксплуатационную скорость $v_s = 20$ км/ч и среднесетевой маршрутный интервал $t_m = 2,5$ мин, то требующийся маршрутный коэффициент транспортной сети

$$k_m = \sum l_m / L_c = [N_{дв} / (2L_c)] v_s t_m = 3 \cdot 20 \cdot 2,5 / 60 = 2,5. \quad (7.8)$$

В городах СССР маршрутный коэффициент сетей ГПТ $k_m = 1,3 \div 3,5$.

Несмотря на связь маршрутного коэффициента с основными параметрами маршрутной системы, он все-таки не может характеризовать ее полностью. Для пояснения этого рассмотрим простейшую транспортную сеть (рис. 7.9), представляющую собой два диаметра 1—3 и 2—4, связывающие основные пассажирообразующие пункты 1, 2, 3, 4 и 0. Общее количество направлений пассажиропоездов по этой сети из периферийных пунктов 1—4 в центр 0 и обратно равно восьми, между периферийными пунктами — двенадцати. Для простоты примем $k_m = 1$. При этой величине можно принять несколько неравноценных вариантов маршрутной системы. На рис. 7.9, а на сети создано четыре радиальных маршрута 1—0, 2—0, 3—0 и 4—0, на рис. 7.9, б два диаметральных 1—3 и 2—4. В обоих случаях $k_m = 1$, но в первом средняя длина маршрута $l_m = l$, коэффициент пересадочности (в предположении равновероятных поездок по всем направлениям) $k_{пер} = 12 / (12 + 8) = 0,6$ (беспересадочных поездок только 40%), а во втором $l_m = 2l$, $k_{пер} = 8 / (12 + 8) = 0,4$ (беспересадочных поездок 60%). Этот пример показывает, что маршрутную систему нельзя охарактеризовать только маршрутным коэффициентом, так как он определяет многие, но не все ее основные особенности.

Стрелочный коэффициент y . Этот коэффициент определяют как среднее по транспортной сети количество стрелок схождения и расхождения, приходящихся на 1 км длины транспортной сети:

$$y = Y / L_c, \quad (7.9)$$

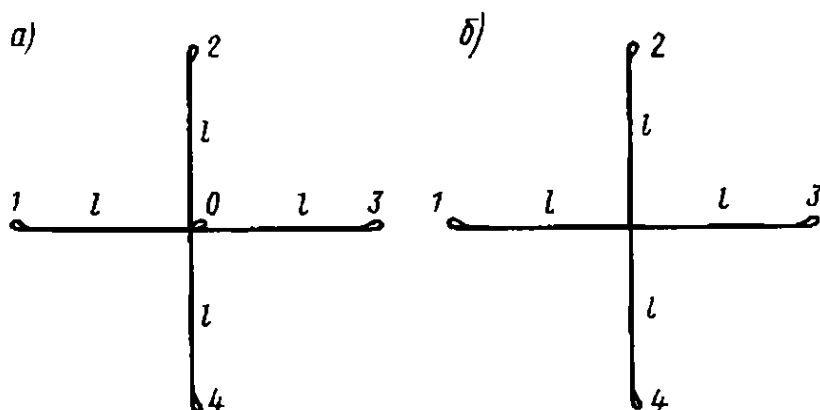


Рис. 7.9

Простейшая транспортная сеть с маршрутным коэффициентом $k_m = 1$

где $У$ — общее количество стрелок схождения и расхождения на эксплуатируемой транспортной сети (без учета стрелок на маневровых, парковых, подъездных и путях конечных станций маршрутов).

Стрелкой схождения называют стрелку, на которой движение поездов разных направлений переводится на одно общее (рис. 7.10, а), *стрелкой расхождения* — стрелку, на которой движение поездов одного направления переводится на два (рис. 7.10, б). На простейшем трамвайном ответвлении с двусторонним движением (рис. 7.10, в) располагают две стрелки: стрелку схождения 1 и стрелку расхождения 2. На трамвайном тройнике с двусторонним движением (рис. 7.10, г) имеются три стрелки схождения 1 и три стрелки расхождения 2.

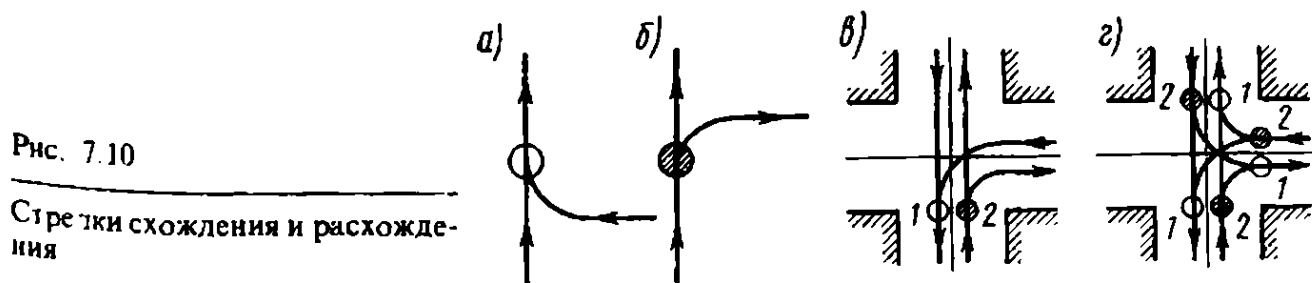
Стрелочный коэффициент $у$ характеризует маневренность (гибкость) маршрутной системы и одновременно ее конфликтность. Чем больше стрелочный коэффициент, тем маневреннее маршрутная система (больше возможности изменения направлений маршрутов) и выше ее конфликтность (уровень взаимных помех движению поездов разных маршрутов и потенциальная опасность дорожно-транспортных происшествий). Современная тенденция состоит в снижении стрелочного коэффициента ГТС. Уменьшение стрелочного коэффициента приводит к сокращению возможностей маневрирования маршрутной системой и повышению пересадочности, но зато позволяет снизить конфликтность ГТС и повысить скорость сообщения транспортных средств.

Коэффициенты совмещения конечных станций ($k_{к.с}$) и остановочных пунктов ($k_{о.п}$). Коэффициент совмещения конечных станций определяют как отношение количества конечных станций транспортной сети к количеству конечных станций маршрутов, а коэффициент совмещения остановочных пунктов — как отношение количества остановочных пунктов ТС к количеству остановочных пунктов маршрутов:

$$k_{к.с} = (\sum PC + \sum TC) / (2s); \quad k_{о.п} = \sum ОП_c / \sum ОП_m, \quad (7.10)$$

где $\sum PC + \sum TC$ — количество конечных станций транспортной сети (распорядительных РС и технических ТС); $2s$ — количество конечных станций маршрутов; s — общее количество маршрутов (за счет совмещения конечных станций $\sum PC + \sum TC < 2s$ и поэтому $k_{к.с} < 1$); $\sum ОП_c$ — количество остановочных пунктов транспортной сети; $\sum ОП_m$ — количество остановочных пунктов маршрутов транспортной сети (за счет совмещения остановочных пунктов $\sum ОП_c < \sum ОП_m$ и $k_{о.п} < 1$).

Экономически выгодно максимальное совмещение конечных станций и остановочных пунктов на ТС, т. е. низкие величины коэффициен-



гов $k_{к.с.}$ и $k_{о.п.}$. Их минимальные значения ограничиваются транспортной загрузкой сети.

Отметим, что строгой научно обоснованной системы показателей сравнения и оценки маршрутных систем ГПТ в настоящее время еще не разработано. Здесь рассмотрены только основные из этих показателей. В практике проектирования и оптимизации маршрутных систем применяют и другие показатели в зависимости от характера решаемых задач.

§ 7.4. Принципы маршрутизации транспортных сетей

Маршрутизацией транспортной сети называют выбор составляющих ее маршрутов и распределение между ними пассажиропотоков. Задача маршрутизации занимает одно из центральных мест в организации пассажироперевозок, так как существенно влияет на экономические и качественные показатели транспортного обслуживания населения и работы транспортных предприятий.

Цель маршрутизации ТС — обеспечение минимальных затрат транспортного времени населения в пассажиропоездках при минимальных транспортных затратах путем рационального выбора видов ГПТ и вместимости подвижного состава (обеспечивающих максимальные скорости сообщения, наиболее высокое использование вместимости и минимальные затраты времени пассажиров на ожидание транспорта у остановочных пунктов), а также связей центров зарождения и погашения пассажиропоездок по кратчайшим направлениям с минимальными коэффициентами непрямолинейности и максимальной беспересадочностью.

Следует иметь в виду, что критерий маршрутизации ТС по минимуму пересадочности противоречит критерию минимума транспортных затрат, так как с уменьшением пересадочности транспортные затраты на единицу объема перевозок увеличиваются, а объем перевозок уменьшается. Поэтому в условиях существующей практики оценки хозяйственной деятельности транспортные предприятия заинтересованы не в снижении, а в повышении пересадочности, что противоречит народно-хозяйственным интересам. Задача маршрутизации оказывается в этих условиях весьма сложной и неоднозначной. Она требует выбора специальных критериев оптимизации и в этом отношении должна быть отнесена к классу эвристических, так как однозначный выбор критериев невозможен. При выбранных критериях задачу маршрутизации ТС можно отнести к классу комбинаторных экстремальных задач, так как решение ее требует перебора возможных вариантов маршрутизации по принятому критерию.

Обычно задачу маршрутизации решают сравнением некоторого (всегда ограниченного) количества вариантов. Однако ручные методы расчета в задаче маршрутизации неэффективны, так как они отличаются высокой трудоемкостью и не дают возможности однозначно отыскать оптимальные варианты. Современный метод решения задачи маршрутизации — математическое моделирование ее на ЭВМ, позволяющее произвести перебор такого количества вариантов, которое обеспечивает отыскание оптимального с высокой вероятностью. Техническую слож-

ность задач маршрутизации ТС определяют в основном три обстоятельства:

1. Возможное количество маршрутов Z на транспортной сети с n узлами (n пунктами зарождения и погашения пассажиропоездов) равно количеству сочетаний C_n^m из n элементов по $m = 2$:

$$Z = C_n^m = n!/[m!(n-m)!] = n(n-1)(n-2)!/[2(n-2)!] = \\ = n(n-1)/2. \quad (7.11)$$

Возможное количество сочетаний этих маршрутов в маршрутных системах (возможное количество C_m вариантов маршрутных систем) определяется суммой сочетаний из Z маршрутов по 1, 2, 3, ..., n :

$$C_m = C_2^1 + C_2^2 + \dots + C_2^n = 2^{n(n-1)} - 1. \quad (7.12)$$

Количество вариантов маршрутных систем, определяемое (7.12), получается огромным. Даже при $n = 10$ имеем $C_m = 2^{10 \cdot 9} - 1 = 10^{27}$. Практически же для расчета корреспонденций принимают еще большее количество транспортных районов. Получающееся при этом количество возможных маршрутных систем таково, что при сплошном переборе для анализа их за практически приемлемое время не могут быть использованы даже самые быстродействующие ЭВМ. Для решения задачи маршрутизации необходимо сократить количество сравниваемых вариантов за счет исключения из рассмотрения явно нереальных и оставшихся остальных до приемлемого объема случайной выборки.

2. Решение задачи маршрутизации ТС осложняется нелинейностью исходных уравнений в связи с тем, что трудность сообщения в пассажиропоездках является нелинейной функцией времени и меняется дискретно в зависимости от комбинации рассматриваемых маршрутов. Поэтому в отличие от классических линейных экстремальных транспортных задач, решаемых методами линейного программирования, задачи маршрутизации могут быть решены только методами нелинейного (динамического) программирования.

3. Маршрутные системы должны рассматриваться как сочетание маршрутов всех видов ГПТ, т. е. как комплексные. Если при этом распределение пассажиропотоков в пределах маршрутной системы одного вида ГПТ может быть выполнено с достаточной точностью, то распределение их между маршрутами разных видов ГПТ значительно менее определено. Даже при достоверном предвидении объема пассажирских связей в транспортной системе распределение их между маршрутами разных видов ГПТ оказывается весьма трудным из-за множества влияющих на этот процесс факторов.

Начертание и направление маршрутов в маршрутной системе должно соответствовать направлению пассажиропотоков. Их назначают так, чтобы обеспечить связи всех главных центров зарождения и погашения пассажиропотоков по кратчайшим направлениям. Этот фактор должен учитываться в первую очередь, так как основная задача маршрутизации — обеспечение максимальной беспересадочности пассажиропоездов. Сначала назначают беспересадочные маршруты между мощными пасса-

жирообразующими пунктами, в частности крупными промышленными предприятиями и обслуживающими их селитебными районами. Задаче обеспечения максимальной беспересадочности и минимальных затрат транспортного времени населения подчинен также выбор длины маршрутов и частоты движения на них. Для обеспечения условий максимальной бесперебойности пассажироперевозок в аварийных ситуациях важное значение имеет взаимное размещение маршрутов в маршрутной системе, облегчающее взаимопомощь маршрутов и организацию движения по обходным направлениям.

При выборе маршрутов также приходится учитывать ограничения, накладываемые улично-дорожной сетью (шириной проезжей части улиц, допустимыми продольными уклонами, радиусами кривых, пропускной способностью). Длина маршрутов должна быть согласована со средней дальностью пассажиропоездов в рассматриваемых корреспонденциях, скоростями движения, возможностью размещения конечных станций, планировкой и конфигурацией городской территории.

Исходными данными для варьирования маршрутных систем на стадии проектных расчетов ГПТ являются расчетные таблицы-матрицы корреспонденций населения между транспортными районами и картограммы пассажирской нагрузки ТС. Единая методика построения маршрутных систем ГПТ еще не узаконена. Транспортные предприятия и проектные организации используют различные методы расчетов. Маршрутные системы представляют собой один из наиболее активных элементов транспортных систем, оптимальность которых существенно изменяется с ростом города, появлением в нем новых центров транспортного тяготения, изменением режима трудовой и культурно-бытовой деятельности населения. В действующих транспортных сетях маршрутная система требует непрерывного изучения и корректировки в соответствии с изменениями пассажиропотоков. Ее проводят по результатам натурных обследований пассажиропотоков с учетом предложений трудящихся и работников эксплуатации.

Г л а в а 8 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ ГПТ С ОБСЛУЖИВАЕМЫМ ГОРОДОМ

§ 8.1. Критерии оценки соответствия системы ГПТ планировочным решениям города

Города одной группы населенности могут иметь различные характеристики расселения населения, размещения важнейших пассажирообразующих центров, расположения жилых и промышленных зон и другие планировочные особенности, определяемые неповторимостью рельефа местности, ее климатическими и почвенными условиями и др. Поэтому и транспортные решения различных городов не совпадают. Оценка соответствия системы ГПТ планировочным решениям города состоит в определении характеристик его транспортной обеспеченности

(уровня удовлетворения системой ГПТ транспортных запросов населения).

Расселение городского населения изображают на генеральном плане города точечной планограммой, в которой каждая точка составляет в зависимости от принятого масштаба 100, 500 или 1000 жителей (см. § 5.2). Транспортную обслуженность определяют по (5.3) и (5.4). Недостаток приведенных показателей транспортной обслуженности состоит в том, что они не учитывают экономических и технических характеристик транспортных систем.

Более общими характеристиками оценки соответствия системы ГПТ планировочным решениям города считают характеристики $\gamma_{40}(\gamma_{30})$ и средневзвешенную затрату времени населения в целевых корреспонденциях (см. § 5.2). Однако и они не могут рассматриваться как полные, так как не учитывают критериев экономичности транспортной системы. Вследствие этого соответствие системы ГПТ планировочным решениям города оценивают в настоящее время группой различных показателей (единого критерия для такой оценки не найдено).

Генеральный план города может отличаться некомпактностью, огороженностью отдельных районов, разобщенностью их естественными и искусственными рубежами и сооружениями и т. д. Задача проектирования системы ГПТ состоит в том, чтобы снять или максимально ослабить недостатки планировочной структуры и расселения жителей города, обеспечить высокую народнохозяйственную эффективность их транспортного обслуживания. Снижение средней трудности сообщения можно получить проведением комплекса таких мероприятий, как повышение плотности ТС, частоты движения, беспересадочности, скорости сообщения транспорта. Эффективным методом коренного улучшения характеристик системы городского транспорта является использование скоростных видов ГПТ — метрополитена, скоростного трамвая, городских скоростных электрических железных дорог и др.

Наиболее наглядным методом комплексной оценки уровня транспортного обслуживания города по критерию трудности сообщения в настоящее время считают *метод изохронограмм*, сущность которого заключается в нанесении на генеральный план города изохрон — геометрического места точек, равноудаленных по трудности сообщения от рассматриваемого пункта транспортного тяготения. Методика построения изохронограммы для магистрали OA по отношению к пункту транспортного тяготения O при прямоугольной застройке города поясняется рис. 8.1. Построение изохрон для трудности сообщения T производится в следующем порядке:

От центра построения O во всех направлениях сходящихся в нем магистралей откладывают отрезки OB , соответствующие длине пути пешеходного подхода к точке O за время T :

$$l_{O \text{ пеш}} = v_{\text{пеш}} T$$

Соединяя полученные точки, получаем контур, который очерчивает зону T -минутной доступности центра O при пешеходном передвижении.

По магистрали OA передвижение к центру O осуществляется с использованием транспорта. Определяем затрату транспортного времени

при передвижении в точку O из ближайшего остановочного пункта I на пути $l_{\text{тр}}$ и прибавляем к ней время ожидания транспорта на остановочном пункте I :

$$x_1 = t_{\text{тр}} + t_{\text{ож}} = l_{\text{тр}}/v_c + 0,5 t_n \varepsilon_p.$$

Определяем оставшееся у пешехода при заданной трудности сообщения T время $t_{1\text{пеш}}$ для пешеходного подхода к остановочному пункту I :

$$t_{1\text{пеш}} = T - x_1 = T - (t_{\text{тр}} + t_{\text{ож}}).$$

Определяем и откладываем по направлениям всех магистралей, сходящихся в точке I , путь, который может пройти пешеход за время $t_{1\text{пеш}}$:

$$l_{1\text{пеш}} = v_{\text{пеш}} t_{1\text{пеш}}.$$

Соединяя полученные точки, получаем контур, очерчивающий зону T -минутной доступности центра O при транспортном передвижении из остановочного пункта I .

Аналогичные построения проводят для остальных остановочных пунктов магистрали OA вплоть до тех пор, пока будет использовано все время T . Область транспортной обслуженности, соответствующая трудности сообщения T , на рисунке заштрихована. Она имеет наибольшую ширину у основания (центра тяготения O), затем постепенно сужается, оставаясь вначале непрерывной (для центров построения $0, 1, 2$ и 3), затем приобретает дискретный характер (область у остановочного

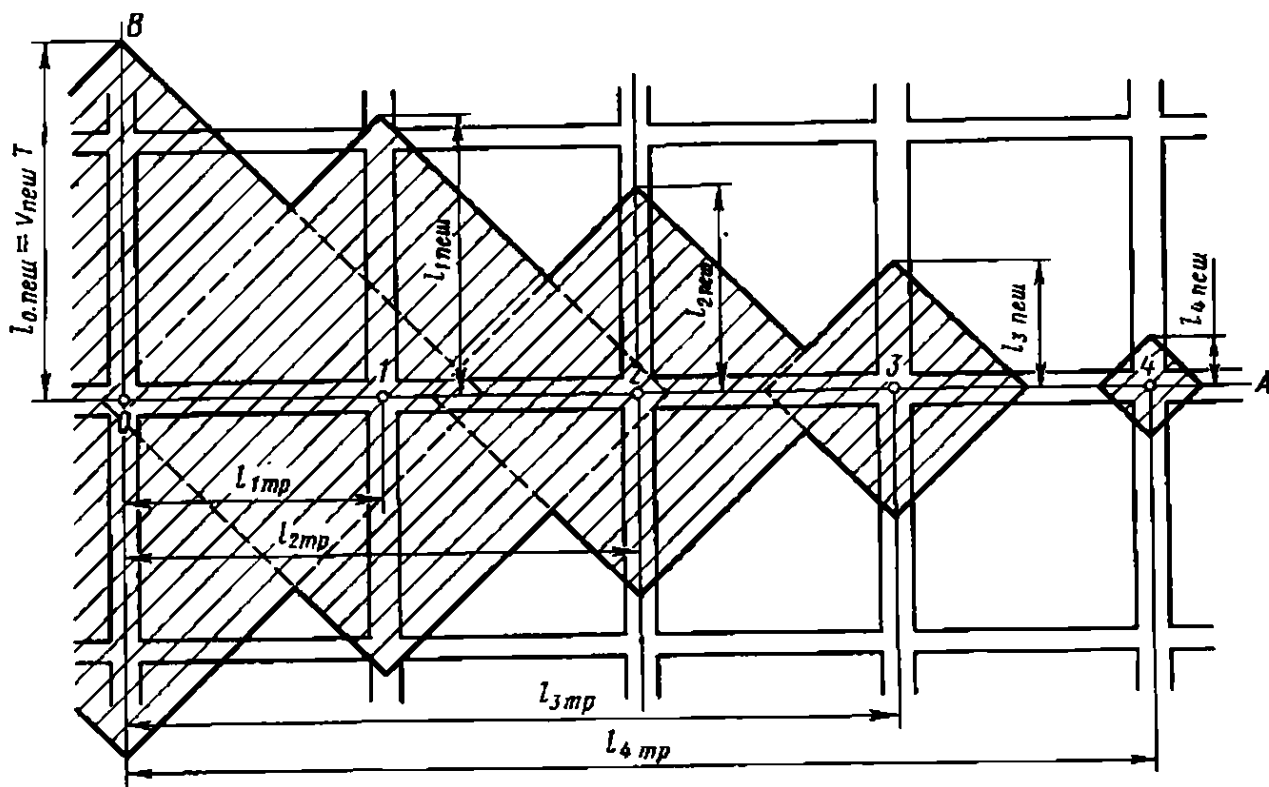


Рис. 8.1

Изохронограмма магистрали OA

пункта 4). В общем случае, $T = l_{\text{тр}}/v_c + t_{\text{ож}} + l_{\text{пеш}}/v_{\text{пеш}}$; $t_{\text{тр}} = l_{\text{тр}}/v_c$, тогда путь пешеходного передвижения

$$l_{\text{пеш}} = [T - (t_{\text{тр}} + t_{\text{ож}})] v_{\text{пеш}} = v_{\text{пеш}} (T - t_{\text{ож}}) - l_{\text{тр}} v_{\text{пеш}}/v_c. \quad (8.1)$$

Соотношение (8.1) называют общим уравнением изохроны, соответствующей трудности сообщения T . При $l_{\text{тр}} = 0$ из (8.1) получаем $l_{\text{пеш}} =$

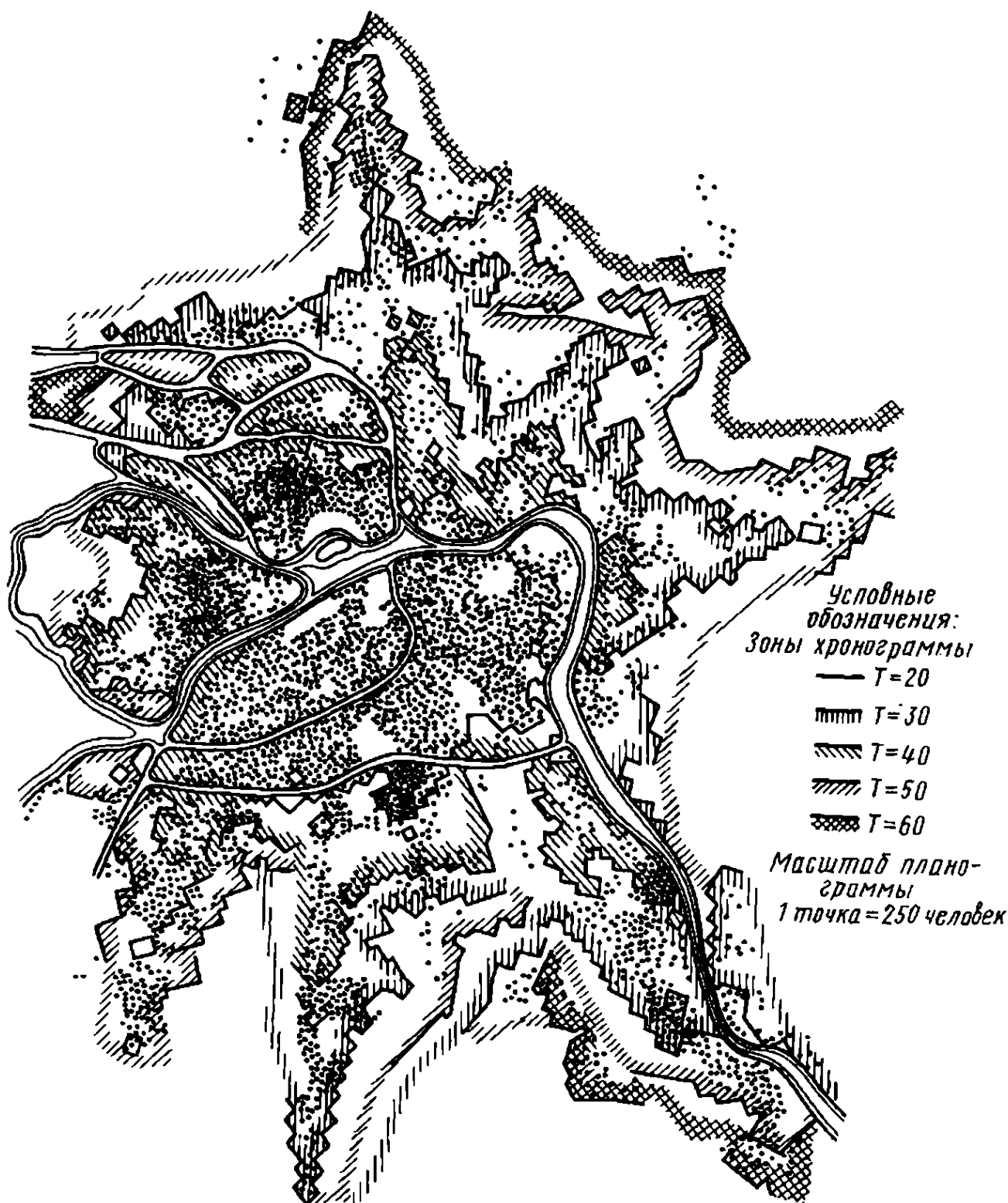


Рис. 8.2

Изохронограмма транспортной доступности, совмещения с планограммой расселения городского населения

$= l_{0 \text{ пеш}} = v_{\text{пеш}} T$, так как в этом случае и $t_{0 \text{ ж}} = 0$. Величина $l_{\text{пеш}} = 0$ соответствует максимальной длине транспортного передвижения к центру тяготения O в пределах заданной трудности сообщения T , когда времени на пешеходный подход к остановочному пункту не остается ($t_{\text{пеш}} = 0$). В этом случае $l_{\text{тр}} = l_{\text{тр. макс}} = (T - t_{0 \text{ ж}}) v_c$.

Практически построение изохронограмм производят с использованием ЭВМ для расчетов затрат времени и расстояний передвижений. Изохроны при анализе транспортной системы строят по отношению к любому пункту транспортного тяготения города — городскому центру, крупному промышленному району и др. Совершенство транспортной системы по показателю трудности сообщения оценивают площадью города, занимаемой изохронами. Чем больше территория, входящая в зоны изохрон с малым индексом трудности сообщения T , тем совершеннее транспортная система и меньше затраты времени населения на передвижения. Для более точной оценки транспортной системы изохронограммы совмещают с точечной планограммой расселения, показывающей населенность зон, охватываемых изохронами (рис. 8.2). Средневзвешенная трудность сообщения

$$T_{\text{ср}} = \left[\sum_1^n H_{[i-(i-1)]} (T_i + T_{i-1}) \right] / (2H), \quad (8.2)$$

где n — количество построенных изохрон; $H_{[i-(i-1)]}$ — население зоны между изохронами i и $i-1$; T_i — трудность сообщения для изохроны i ; T_{i-1} — то же, для изохроны $i-1$; H — полное население города.

Обычно используют два вида изохронограмм, характеризующих удаленность по времени всех районов города от общегородского центра или других пунктов массового тяготения, расположенных в одном или нескольких смежных районах города, и пунктов массового тяготения, расположенных во всех районах города.

На рис. 8.3, а показана изохронограмма взаимной удаленности районов Ленинграда для тяготений по всем целям суммарно, показывающая, что в наилучших условиях транспортного обслуживания на момент

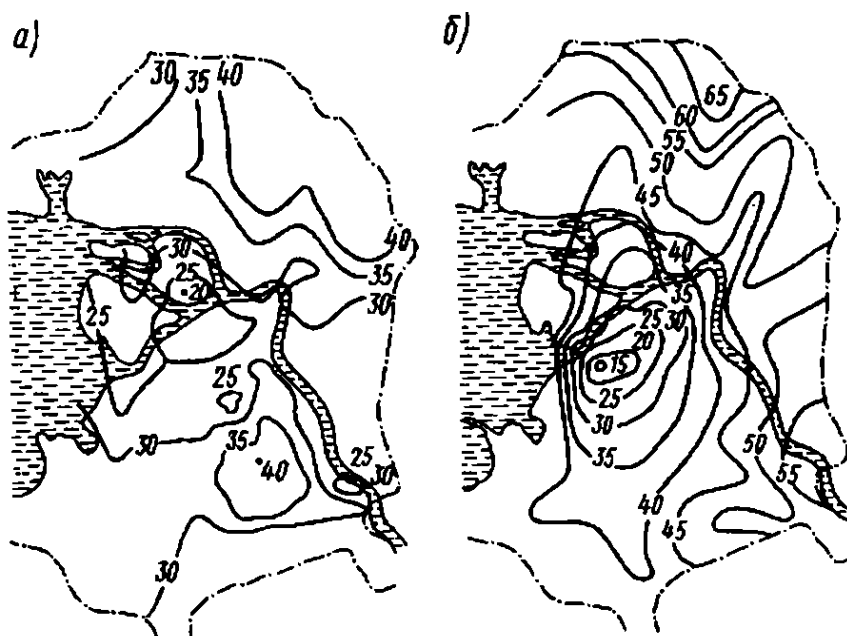


Рис. 8.3

Изохронограммы Ленинграда

обследования находилась южная часть Петроградской стороны, где средняя продолжительность одного передвижения — 20 мин. Для районов Гражданки, Ржевки, Купчино средневзвешенная трудность сообщения составляла 40 мин и более. На рис. 8.3, б приведена изохронограмма удаленности Ленинского района от городского центра. Эта изохронограмма показывает, что наиболее длительными по суммарным затратам времени, превышающим 45 мин, на момент обследования являлись связи центра с Васильевским островом, новыми периферийными районами Гражданки, Щемиловки и правым берегом реки Невы [11].

Кроме показателей транспортной обслуженности и трудности сообщения для оценки уровня соответствия транспортной системы планировочному решению города используют и другие, в частности коэффициент эффективности системы транспорта $\varepsilon_{\text{эф}}$, который определяют как отношение транспортной доступности $g_{\text{тр}}$ тех или других районов города к их пешеходной доступности $g_{\text{пеш}}$. Доступность определяют как величину, обратную соответствующей трудности сообщения. Поэтому коэффициент эффективности транспортной системы

$$\varepsilon_{\text{эф}} = g_{\text{тр}}/g_{\text{пеш}} = t_{\text{пеш}}/t_0 = v_{\text{с. пр}}/v_{\text{пеш}}, \quad (8.3)$$

где t_0 и $v_{\text{с. пр}}$ — затраты времени и приведенная скорость сообщения в корреспонденциях между рассматриваемыми районами города.

Коэффициент эффективности транспортной системы является функцией территориальных размеров города, с ростом которых возрастают скорость сообщения используемых видов ГПТ и коэффициент эффективности транспортной системы.

§ 8.2. Методика оценки планировочного решения города и определения ожидаемых характеристик его транспортной системы

Для транспортной оценки планировочного решения города на ранних стадиях градостроительного проектирования до проектирования ТС (на «досетевом» уровне) используют различные методики, в том числе рассчитанные на применение ЭВМ. В отечественной проектной практике обычно используют методику комплексной транспортной оценки планировочного решения городов на основе сравнения его с круговым городом-эталонном той же площади, разработанную А. М. Якимовым (ЦНИИП градостроительства) и нашедшую отражение в «Методических указаниях по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог» [14].

Сущность этой методики состоит в определении расположения главного центра города, его главного транспортного узла, центров тяжести освоенной территории, размещения мест труда, расселения населения по жилым районам, размещения фокусов нетрудового тяготения и оценке их размещения. Совпадение или близкое расположение всех этих центров означает территориальную уравновешенность города, несовпадение (разобшенность) — неудовлетворительное территориальное решение. Размещение главного административного и культурно-бытового центра города и его главного транспортного узла определяются рассматриваемым вариантом генерального плана. Главным транспортным узлом

называют узел пересечения главных транспортных диаметров города, расположенный в наибольшей близости всех центров его трудового и нетрудового тяготения населения и жилых емкостей (районов). Для оценки планировочного решения города А. М. Якшин вводит ряд абсолютных и относительных показателей.

Характеристики населенности освоенной территории. Средняя плотность населения (жителей/км²) и удельная площадь освоенной территории в расчете на одного жителя (м²/жителя)

$$\bar{h}_F = H/F_{\text{осв}}; \quad \bar{F}_{\text{осв}} = F_{\text{осв}}/H, \quad (8.4)$$

где H — население города; $F_{\text{осв}}$ — площадь его освоенной территории, определяемая как площадь контура, в пределах которого размещаются все жилые районы города и центры его тяготения.

По величинам $\bar{h}_F$ и $\bar{F}_{\text{осв}}$ города делят на пять классификационных групп: I — с очень большой удельной освоенной территорией (более 400 м² жителя) и соответственно очень малой плотностью населения (менее 2500 жителей/км²); II — с большой удельной освоенной территорией (400—200 м²/жителя) и соответственно малой плотностью населения (2500—5000 жителей/км²); III — с умеренной удельной освоенной территорией (200—100 м²/жителя) и соответственно умеренной плотностью населения (5000—10 000 жителей/км²); IV — с малой удельной освоенной территорией (100—50 м²/жителя) и соответственно высокой плотностью населения (10 000—20 000 жителей/км²); V — с очень высокой плотностью населения (20 000—30 000 жителей/км²) и соответственно очень малой удельной освоенной территорией (50—33 м²/жителя).

Характеристики формы освоенной территории города в сравнении с круговым городом-эталон. Коэффициент формы

$$\alpha_0 = l_{\text{в.осв}}/l_{\text{в.э}}, \quad (8.5)$$

где $l_{\text{в.осв}}$ — средняя воздушная удаленность освоенной территории города относительно его главного транспортного узла или других характерных точек (центров транспортного тяготения); $l_{\text{в.э}}$ — средняя воздушная удаленность кругового города-эталона той же площади $F_{\text{осв}}$ относительно его центра.

Для определения $l_{\text{в.осв}}$ строят *изодистанты* — геометрические места точек, равноудаленных от центра построения (главного транспортного узла или других центров транспортного тяготения города). Ими являются окружности, которые наносят на плане города через 1 км в пределах его освоенной территории. Подсчитывают площади F_i изодистантных зон, определяют моменты этих площадей относительно центра построения $F_i l_{\text{в.осв}i}$ и их среднюю воздушную удаленность от центра построения.

$$l_{\text{в.осв}} = \sum F_i l_{\text{в.осв}i} / \sum F_i = \sum F_i l_{\text{в.осв}i} / F_{\text{осв}}. \quad (8.6)$$

Средняя воздушная удаленность территории $F_{\text{осв}}$ кругового города-эталона относительно его центра

$$l_{\text{в.э}} = 2/3 R = 0,377 \sqrt{F_{\text{осв}}}, \quad (8.7)$$

где R — радиус кругового города-эталона.

По величине коэффициента формы города классифицируют на шесть групп: I — весьма компактные ($\alpha_0 \leq 1,1$); II — компактные ($1,1 < \alpha_0 \leq 1,2$); III — умеренно компактные ($1,2 < \alpha_0 \leq 1,4$); IV — мало компактные ($1,4 < \alpha_0 \leq 1,7$); V — некомпактные ($1,7 < \alpha_0 \leq 2,1$); VI — совсем некомпактные ($\alpha_0 > 2,1$).

Характеристики концентрации в плане города мест приложения труда, населения и фокусов нетрудового тяготения. Коэффициенты концентрации в плане города центров трудового тяготения β_T , населения (жилых зон) β_N , фокусов нетрудового тяготения β_{KB} :

$$\beta_T = l_{в.Т}/l_{в.осв}, \quad \beta_N = l_{в.Н}/l_{в.осв}, \quad \beta_{KB} = l_{в.КБ}/l_{в.осв}, \quad (8.8)$$

где

$$l_{в.Т} = \sum_{F_{осв}} H_{Ti} l_{в.Тi} / \sum_{F_{осв}} H_{Ti}; \quad l_{в.Н} = \sum_{F_{осв}} H_i l_{в.Нi} / \sum_{F_{осв}} H_i; \\ l_{в.КБ} = \sum_{F_{осв}} H_{КБi} l_{в.КБi} / \sum_{F_{осв}} H_{КБi} \quad (8.9)$$

— воздушная удаленность от центра построения мест приложения труда, жилых районов и центров нетрудового тяготения населения; H_{Ti} , H_i , $H_{КБi}$ — количество в i -й километлической зоне относительно центра построения мест приложения труда (трудящихся), населения жилых районов и центров нетрудового тяготения населения; $l_{в.Тi}$, $l_{в.Нi}$, $l_{в.КБi}$ — средняя воздушная удаленность относительно центра построения рассматриваемых километлических зон.

По величине коэффициентов концентрации β_T , β_N и β_{KB} аналогично предыдущему города классифицируют на шесть групп: I — с очень высокой концентрацией в плане города мест приложения труда, населения и центров нетрудового тяготения ($\beta \leq 0,4$); II — с высокой концентрацией ($0,4 < \beta \leq 0,6$); III — с умеренной концентрацией ($0,6 < \beta \leq 0,8$); IV — с малой концентрацией ($0,8 < \beta < 1,0$); V — с равномерным размещением в плане города мест труда, населения и центров нетрудового тяготения ($\beta = 1$); VI — города с деконцентрацией мест труда, населения и центров нетрудового тяготения ($\beta > 1$).

Характеристики реальной удаленности объектов городского плана от центров построения и непрямолинейности сетей городских путей сообщения (ГПС). Реальная удаленность объектов от центра построения по улично-дорожной сети $l_{ср}$ и средний коэффициент непрямолинейности сообщения с центром построения от мест труда, жилых районов и центров нетрудового тяготения

$$k_{нп.Т} = l_{ср.Т}/l_{в.Т}, \quad k_{нп.Н} = l_{ср.Н}/l_{в.Н}, \\ k_{нп.КБ} = l_{ср.КБ}/l_{в.КБ}, \quad (8.10)$$

где

$$l_{ср.Т} = \sum_{F_{осв}} H_{Ti} l_{ср.Тi} / \sum_{F_{осв}} H_{Ti}; \quad l_{ср.Н} = \\ = \sum_{F_{осв}} H_i l_{ср.Нi} / \sum_{F_{осв}} H_i; \quad l_{ср.КБ} = \sum_{F_{осв}} H_{КБi} l_{ср.КБi} / \sum_{F_{осв}} H_{КБi} \quad (8.11)$$

— средняя реальная удаленность от центра построения километрических зон с объектами приложения труда, жилыми районами и центрами нетрудового тяготения по улично-дорожной сети; $l_{ср.т.}$, $l_{ср.ж.}$, $l_{ср.кб.}$ — удаленность по улично-дорожной сети от центра построения километрических зон i с объектами приложения труда, жилыми районами и центрами нетрудового тяготения.

По величинам реальной удаленности $l_{ср.т.}$, $l_{ср.ж.}$, $l_{ср.кб.}$ города классифицируют на шесть групп: I — с очень малой реальной удаленностью $l_{ср.} \leq 1,5$ км; II — с малой удаленностью ($1,5 < l_{ср.} \leq 2,5$ км); III — с умеренной удаленностью ($2,5 < l_{ср.} \leq 4,0$ км); IV — с большой удаленностью ($4,0 < l_{ср.} \leq 6,0$ км); V — с очень большой удаленностью ($6,0 < l_{ср.} \leq 8,5$ км); VI — с исключительно большой удаленностью ($l_{ср.} > 8,5$ км). Аналогично на шесть групп классифицируют города по величине коэффициентов непрямолинейности $k_{нп.т.}$, $k_{нп.ж.}$ и $k_{нп.кб.}$: I — с очень малой непрямолинейностью сети ГПС ($k_{нп.} < 1,1$); II — с малой непрямолинейностью сети ГПС ($1,1 < k_{нп.} \leq 1,15$); III — с умеренной непрямолинейностью ($1,15 < k_{нп.} \leq 1,2$); IV — с высокой непрямолинейностью ($1,2 < k_{нп.} \leq 1,25$); V — с очень высокой непрямолинейностью ($1,25 < k_{нп.} \leq 1,3$); VI — с исключительно высокой непрямолинейностью сети ГПС ($k_{нп.} > 1,3$).

Сводные характеристики компактности размещения объектов тяготения относительно центра построения, учитывающие форму территории, концентрацию объектов тяготения и непрямолинейность сети ГПС между ними. По местам приложения труда

$$x_t = \alpha_0 \beta_t k_{нп.т.}; \quad (8.12a)$$

по местам жилья

$$x_{ж} = \alpha_0 \beta_{ж} k_{нп.ж.}; \quad (8.12б)$$

по местам нетрудового тяготения

$$x_{кб} = \alpha_0 \beta_{кб} k_{нп.кб.}. \quad (8.12в)$$

По величине сводных коэффициентов компактности χ различают шесть групп городов: I — весьма компактные ($\chi \leq 0,5$); II — компактные ($0,5 < \chi \leq 0,85$); III — умеренно компактные ($0,85 < \chi \leq 1,35$); IV — мало компактные ($1,35 < \chi \leq 2,0$); V — некомпактные ($2,0 < \chi \leq 2,8$); VI — совсем некомпактные ($\chi > 2,8$).

Характеристика общей компактности планировочного решения городского плана по отношению к размещению мест труда, жилья и центров нетрудового тяготения населения (коэффициент общей компактности планировочного решения)

$$x_0 = x_t a_t + x_{ж} a_{ж} + x_{кб} a_{кб}, \quad (8.13)$$

где

$$a_t = p_t / p, \quad a_{ж} = p_{ж} / p, \quad a_{кб} = p_{кб} / p \quad (8.14)$$

— удельный вес в долях единицы подвижности населения в прямых передвижениях, связанных с местами труда, жилыми районами и посещением культурно-бытовых, административных, зрелищных, торговых и других центров нетрудового тяготения, расположенных вне жилых районов; p_t , $p_{ж}$, $p_{кб}$ — подвижность населения в прямых передвижениях, связанных

с местами труда, жилыми районами и центрами нетрудового тяготения населения; p — общая подвижность населения (см. § 10.1).

По величине коэффициента общей компактности планировочного решения города классифицируют на шесть групп с теми же численными величинами χ_0 , что и в классификации по сводным коэффициентам компактности χ_t , χ_n и $\chi_{кб}$.

Характеристика средней реальной удаленности населения и всех центров его тяготения от центра построения (главного транспортного узла города).

$$\bar{l}_{ср} = 0,377 \chi_0 \sqrt{F_{осв}} = 0,377 a_0 (\beta_t k_{нп.т} a_t + \beta_n k_{нп.н} a_n + \beta_{кб} k_{нп.кб} a_{кб}) \sqrt{F_{осв}}. \quad (8.15)$$

По величине средней реальной удаленности $\bar{l}_{ср}$ города классифицируют на шесть групп с теми же числовыми значениями $\bar{l}_{ср}$, что и по величине реальной удаленности $l_{ср.т}$, $l_{ср.н}$ и $l_{ср.кб}$.

Величина $\bar{l}_{ср}$ представляет собой наиболее краткую характеристику планировочного решения города, учитывающую, как это следует из (8.15), его территориальные размеры, компактность, размещение объектов тяготения и подвижность (образ жизни и деятельности) населения.

По характеристикам планировочного решения города определяют ожидаемые транспортные характеристики, объем транспортной работы ГПТ, распределение его по зонам города и ориентировочную транспортную нагрузку маршрутов и сети. Для этого последовательно определяют средний по городу коэффициент пользования транспортом $\phi_{тр.ср}$, затем транспортную подвижность населения p_t (в сетевых передвижениях), среднюю дальность сетевой поездки $L_{ср}$ и общий объем годовой транспортной работы Q_t .

Средний по городу коэффициент пользования транспортом

$$\phi_{тр.ср} = r \lg (10^3 \bar{l}_{ср} / \rho_0), \quad (8.16)$$

где

$$r = 52,7/t_{0.ср}^2 + 9,1/t_{0.ср} \quad (8.17)$$

— эмпирический коэффициент, учитывающий транспортное единство города, характеризуемое трудностью сообщения $t_{0.ср}$ с главным транспортным узлом (центром построения изодистантных зон). Функция $r(t_{0.ср})$ имеет гиперболический характер. При больших величинах $t_{0.ср}$ коэффициент $r \rightarrow 0$ и $\phi_{тр.ср} \rightarrow 0$. Это означает, что при больших величинах $t_{0.ср}$ транспортное единство города нарушается, он распадается на ряд отдельных образований, имеющих весьма слабые транспортные связи;

$$\rho_0 = \tau_0 v_{пеш}, \tau_0 = 418/v_{с.в}^2 + 28,2/v_{с.в} \quad (8.18)$$

— «пороговое» максимальное расстояние передвижения (м), до которого население предпочитает пешеходные передвижения, а после — транспортные, и «пороговое» время (мин), соответствующее «пороговому» расстоянию пешеходных передвижений;

$$v_{с.в} = 60 \bar{l}_{ср} / t_{0.ср} = \bar{v}_c / \Theta_0 \quad (8.19)$$

— средневзвешенная скорость передвижения от двери ПО объектов трудового тяготения, жилых районов и объектов нетрудового тяготения, расположенных в изодистантных зонах, к центру построения на пути $\bar{l}_{cp}$; $\bar{v}_c$ — средневзвешенная скорость транспортного сообщения с центром построения на пути $\bar{l}_{cp}$. Если транспортное передвижение на пути $\bar{l}_{cp}$ включает в себя передвижения l_{ci} на разных видах транспорта, имеющих скорости сообщения v_{ci} , то:

$$\bar{v}_c = \sum^{l_{cp}} a_{il} v_{ci}, \quad (8.20)$$

где

$$a_{il} = l_{cpi} / \bar{l}_{cp}, \quad (\sum l_{cpi} = \bar{l}_{cp}). \quad (8.20a)$$

Если известна транспортная нагрузка F_i участков l_i в рассматриваемых передвижениях, то

$$\bar{v}_c = \sum^{l_{cp}} a_{iF} v_{ci},$$

где

$$a_{iF} = F_i l_{cpi} / [\sum F_i l_{cpi}]; \quad (8.20b)$$

$$\Theta_0 = t_{0,cp} / t_{\bar{v}_c} \quad (8.21)$$

— коэффициент накладных затрат времени в транспортном сообщении с центром построения, учитывающий пешеходный подход к линиям ТС, пешеходное передвижение вдоль линии ТС к остановочным пунктам МПТ, ожидание транспорта и затраты времени на пересадки в транспортном передвижении; $t_{\bar{v}_c} = \bar{l}_{cp} / \bar{v}_c$ — трудность сообщения на пути $\bar{l}_{cp}$ в целевых передвижениях между объектами изодистантных зон и центром построения, которая имела бы место при передвижении между ними со средневзвешенной транспортной скоростью $\bar{v}_c$.

С учетом (8.15) и (8.21) средняя трудность сообщений городских объектов с главным транспортным центром (или другим центром изодистантного анализа города)

$$t_{0,cp} = t_{\bar{v}_c} \Theta_0 = (\bar{l}_{cp} / \bar{v}_c) \Theta_0 = 0,377 \Theta_0 \chi_0 \sqrt{F_{0,св}} / \bar{v}_c. \quad (8.22)$$

Выражение (8.22) показывает, что трудность сообщения с главным транспортным узлом города (и аналогично любым другим центром построения) зависит от его освоенной территории $F_{0,св}$, степени компактности планировочного решения χ_0 , средневзвешенной скорости транспортного сообщения $\bar{v}_c$ и накладных затрат времени в передвижениях Θ_0 , величина которых определяется качеством транспортного решения. Качество транспортной обслуженности города определяется и качеством решения его транспортной системы и качеством планировочного решения. Последнее оказывает решающее влияние на ожидаемую транспортную обслуженность города и требует поэтому тщательной транспорт-

ной оценки на самых ранних стадиях градостроительного проектирования. А. И. Стрельников считает [36], что транспортные возможности исправления недостатков планировки весьма незначительны. Поэтому транспортное обоснование планировки — одна из важнейших задач теории транспортных расчетов. Варианты принимаемых решений оцениваются величиной $t_{o,cr}$ по (8.22). При реализации программы расчета на ЭВМ последняя определяется как средневзвешенная трудность в сообщениях между всеми главными пассажирообразующими центрами города. Наименьшей в ней является трудность сообщения с главным транспортным узлом города. По величине трудности сообщения с главным транспортным узлом города классифицируют на шесть групп с трудностью сообщения $t_{o,cr}$: I — очень малой ($t_{o,cr} \leq 20$ мин); II — малой ($20 < t_{o,cr} \leq 24$ мин); III — умеренной ($24 < t_{o,cr} \leq 28$ мин); IV — большой ($28 \leq t_{o,cr} \leq 32$ мин); V — очень большой ($32 < t_{o,cr} \leq 34$ мин); VI — исключительно большой ($t_{o,cr} > 34$ мин).

Транспортная система должна предоставлять населению реальную экономию времени в передвижениях, по величине которой можно судить об ее эффективности. Абсолютная экономия времени в расчете на одного жителя в транспортном передвижении к главному транспортному узлу по сравнению с пешеходным

$$\Delta t = t_{пеш} - t_{o,cr} = 0,377 \times_0 \sqrt{F_{осв}} / v_{пеш} - 0,377 \times_0 \Theta_0 \sqrt{F_{осв}} / \bar{v}_c = \\ = 0,377 \times_0 \sqrt{F_{осв}} (1/v_{пеш} - \Theta_0 / \bar{v}_c), \quad (8.23)$$

т. е. Δt уменьшается с ростом накладных затрат времени на передвижение и увеличивается с ростом скорости транспортного передвижения.

Коэффициент эффективности транспортной системы в обеспечении передвижений к главному транспортному узлу [см. (8.3)]

$$\epsilon_{эф.о} = g_{тр} / g_{пеш} = t_{пеш} / t_{o,cr} = \bar{v}_c / \Theta_0 v_{пеш}. \quad (8.24)$$

Основные показатели эффективности транспортной системы города — $\bar{v}_c$, Θ_0 и $\varphi_{тр.ср}$. По величине средней скорости сообщения транспорта $\bar{v}_c$ транспортные системы классифицируют на шесть групп: I — очень малой (менее 12 км/ч); II — малой (12—16 км/ч); III — умеренной (16—20 км/ч); IV — большой (20—24 км/ч); V — очень большой (24—28 км/ч); VI — исключительно большой (более 28 км/ч) скоростью сообщения. Степень использования скорости $\bar{v}_c$, определяемую величиной коэффициента накладных затрат Θ_0 , можно считать очень малой при $\Theta_0 \leq 2$; малой — при $2 < \Theta_0 \leq 1,66$; умеренной — при $1,66 < \Theta_0 \leq 1,54$; большой — при $1,54 < \Theta_0 \leq 1,43$; очень большой — при $1,43 < \Theta_0 \leq 1,33$ и исключительно большой — при $\Theta_0 > 1,33$. При принятой или заданной трудности сообщения $t_{o,cr}$ по (8.23) может быть определена требуемая скорость $\bar{v}_c$. Транспортная подвижность населения в полных (сетевых) передвижениях

$$p_{тр} = p \varphi_{тр.ср}, \quad (8.25)$$

где p — общая подвижность населения города.

Средняя дальность полной поездки $L_{\text{ср}}$ (по эмпирическим данным) на линиях нескоростного транспорта, связывающих центры тяготения с главным транспортным узлом города:

$$L_{\text{ср}} = (1,1 \div 1,5) + 0,687 \bar{t}_{\text{ср}} \approx 1,3 + 0,687 \bar{t}_{\text{ср}}, \quad (8.26)$$

при наличии скоростного транспорта

$$L_{\text{ср}} = (1,7 \div 1,9) + 0,687 \bar{t}_{\text{ср}} \approx 1,8 + 0,687 \bar{t}_{\text{ср}}. \quad (8.27)$$

Годовая транспортная работа МПТ (если $t_{0,\text{ср}}$ и $v_{\text{с.э}}$ определены для МПТ) или средняя годовая транспортная работа (пасс-км/год) МПТ и ИПТ (если $t_{0,\text{ср}}$ и $v_{\text{с.э}}$ определены для всей транспортной системы города):

$$Q_{\text{г}} = \rho_{\text{г}} L_{\text{ср}} H = \varphi_{\text{тр.ср}} \rho L_{\text{ср}} H. \quad (8.28)$$

Общий объем транспортной работы $Q_{\text{г}}$ распределяется по зонам города неравномерно (плотность движения достигает максимума в зоне центра и уменьшается к периферии). Для выявления распределения транспортной работы по зонам города могут быть использованы опытные данные коэффициентов концентрации плотности движения по результатам обследований или теоретический расчет транспортных показателей $\varphi_{\text{тр.ср}}$ по зонам города — центральной, срединной и периферийной или другим, взятым с учетом планировочных особенностей города.

Раздел второй



ПРОЕКТНЫЕ РАСЧЕТЫ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

Глава 9

ВИДЫ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ ПАССАЖИРОПЕРЕВОЗОК

§ 9.1. Стадии градостроительно-транспортного проектирования

Советское градостроительное проектирование нацелено на создание благоустроенных, удобных, экономичных в строительстве и эксплуатации городов, обеспечивающих наилучшие условия для труда, быта и отдыха населения, наиболее рациональное использование природных ресурсов, охрану и улучшение окружающей человека среды. Этим целям подчинен выбор месторасположения новых городов по народнохозяйственным соображениям, их зонирование, архитектурно-планировочное решение, принципы проектирования жилых районов и микрорайонов, инженерных коммуникаций и сооружений, промышленных комплексов, архитектурных сооружений и др.

Город — это сложная система взаимодействующих объектов, характеризующихся различными технико-экономическими показателями и критериями оптимизации. Вследствие этого задача градостроительного проектирования по своей сути многокритериальна и включает в себя большой объем различных решений. Обычно ею занимается коллектив специалистов, возглавляемый главным архитектором проекта. Последний отвечает за идею и общую направленность проектирования, ему принадлежит замысел города как архитектурно-цельной урбанизированной единицы и последнее слово в разрешении конфликтов, когда решения тех или других его элементов вступают в противоречия друг с другом или не согласуются с общим композиционным замыслом города. Среди прочих задач проектирования главный архитектор определяет и общую транспортную схему города. Задачей теории городских перевозок является в этом плане создание методик, обеспечивающих не только правильное транспортное решение города, но и сопутствующих задач

градостроительного проектирования по транспортным критериям, в частности задач его функционального зонирования и планировки.

Следует отметить, что задачи градостроительного проектирования отличаются не только большим разнообразием, но и неадекватным подходом к их решению в различных условиях. Города могут создаваться «на голом месте» (Комсомольск-на-Амуре, Мирный) или в порядке развития существующей застройки различных городов и поселков. Поэтому в каждом случае состав задач градостроительного (в том числе транспортного) проектирования различен. Его определяют географические особенности местности, геолого-топографические условия и др. Могут существовать примерно одинаковые проектно-градостроительные ситуации в различных городах, но проектный процесс в каждом из них будет иным. Определение его оптимальной структуры составляет одну из важных задач градостроительного проектирования.

В соответствии с установками Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства (Госстроя СССР) различают шесть видов (стадий) проектно-планировочных работ по составлению проектов планировки и застройки городов, поселков городского типа и сельских населенных пунктов: технико-экономических основ развития города; генерального плана города или поселка или проекта планировки и застройки сельского населенного пункта; проекта размещения строительства первой очереди; проекта детальной планировки; проекта планировки и застройки градостроительных ансамблей (общественных центров, площадей, улиц, набережных и др.); проекта планировки пригородной и зеленой зон.

Каждая из этих стадий характеризуется комплексным решением всех основных элементов города: его планировочной организации, расселения населения, системы магистральных улиц и дорог, городского пассажирского транспорта, инженерного оборудования, санитарно-технического благоустройства и др., но с разной степенью и глубиной проработки. Следует подчеркнуть, что на всех этапах градостроительное проектирование неразрывно связано с транспортным. На стадии разработки технико-экономических основ развития города задачи транспортного проектирования сводятся в основном к решению вопросов внешнего транспорта, т. е. связей будущего города в системе группового расселения с различными районами страны, его привязки к Единой транспортной системе СССР с учетом места, которое он должен занимать в системе народного хозяйства страны и транспортной оценке функционального зонирования города. На стадии генерального плана главными являются задачи схемного решения ТС и выявления ожидаемой транспортной работы, проектирования комплексной транспортной схемы городского транспорта и ее увязки со схемами транспортного обслуживания пригородной зоны и агломерации, в которой расположен проектируемый город.

Проектный документ, определяющий комплексное решение функциональных элементов города и перспектив его развития, включая систему транспортного обслуживания городского населения, называют *генеральным планом города*. В соответствии с «Инструкцией по составлению проектов планировки и застройки городов, поселков и сельских насе-

ленных пунктов» генеральные планы столиц союзных республик, крупнейших городов с численностью населения 500 тыс. человек и более, а также новых городов особого народнохозяйственного значения и городов со сложными системами расселения и расположенных в специфических природно-географических условиях разрабатывают в две стадии: технико-экономических основ (ТЭО) развития города (на ней создают эскиз генерального плана) и генерального плана города. Для остальных городов и поселков городского типа генеральные планы разрабатываются в одну стадию.

В соответствии с инструкциями Госстроя СССР строят новые города, поселки городского типа и сельские населенные пункты, а также реконструируют старые города. Однако в транспортном развитии нуждаются также и существующие города, причем даже в тех случаях, когда их территориальный рост незначителен или сдерживается искусственно. Поэтому в соответствии с постановлением Совета Министров СССР от 26 декабря 1967 г. «О мерах по улучшению обслуживания населения городским пассажирским транспортом» для всех не только вновь создаваемых и расширяющихся, но и существующих городов с населением 250 тыс. человек и более разрабатывают комплексные схемы развития всех видов ГПТ на расчетный срок 10—15 лет с выделением первоочередных работ на ближайшие 5 лет.

Таким образом, основными этапами транспортного проектирования городов являются в общем случае ТЭО, генеральный план и комплексная транспортная схема. Заключительный этап транспортного проектирования — техно-рабочее проектирование транспортных объектов (ТРП): дорог, мостов, путепроводов, системы электроснабжения городского электрического транспорта, систем и устройств организации движения ГМПТ и т. д.

Исходными материалами для транспортного проектирования должны служить во всех случаях, когда это возможно (при разработке проектов транспортного развития существующих городов), материалы детальных натурных обследований городского движения. Транспортные расчеты на основе статистических показателей и теоретических соображений выполняют только при транспортном проектировании новых городов, когда исключена возможность их уточнения натурными обследованиями. Такой подход к задачам транспортного проектирования связан с тем, что транспортную ситуацию в реальных городах создает комплекс социально-экономических, планировочно-градостроительных, географо-климатических, демографических и других факторов, находящихся в сложной взаимосвязи и трудно поддающихся учету и оптимизации. Поэтому использование данных натурных обследований движения обеспечивает более высокую точность транспортного прогнозирования и расчетов.

К основным натурным обследованиям, проводимым в порядке подготовки исходных данных для градостроительно-транспортных расчетов, относят: обследования расселения населения относительно мест приложения труда; выборочные анкетные обследования транспортных и пешеходных передвижений населения по часам суток с фиксацией пунктов отправления и прибытия и маршрутов движения; талонные или

табличные обследования пассажироперевозок маршрутов МПТ с определением работы (пассажирооборота) остановочных пунктов, наполнения подвижного состава по перегонам, корреспонденций между остановочными пунктами, распределения их по часам суток в характерные дни недели и среднемесячной работы; выборочные анкетные обследования использования легкового и грузового автотранспорта с фиксацией корреспонденций и целей поездок по часам суток; обследования интенсивности движения легковых и грузовых автомобилей на наиболее деятельных магистралях и дорогах и в транспортных узлах по часам суток; обследования скоростей сообщения легковых и грузовых автомобилей на магистральных улицах и дорогах в часы интенсивного движения и спада движения.

Особую ценность представляют материалы периодически повторяемых обследований, позволяющие устанавливать закономерности изменения передвижений на сетях МПТ, улиц и дорог, требующиеся для прогнозирования их на перспективу. Следует, однако, отметить, что финансирование натурных обследований расселения и городского движения осуществляется Горисполкомами практически только на стадиях проектирования комплексных транспортных схем. Поэтому транспортное проектирование на стадиях ТЭО и генерального плана проводят обычно по материалам «Методических указаний» [14], [15].

Особо важно иметь в виду, что транспортное проектирование должно рассматриваться во всех случаях как элемент градостроительного на системной основе. Это означает, что его стратегическими задачами являются комплексное решение транспортных проблем в увязке с градостроительными по критерию общей оптимальности системы «Город», т. е. в увязке по критерию максимума общей эффективности всех локальных критериев эффективности его подсистем: селитьбы, селитьба—труд, культурно-бытового обслуживания, организации отдыха и др. Координацию усилий в этом направлении осуществляет главный архитектор проекта, но эффект будет только в том случае, когда эту же задачу ставят перед собой все участники градостроительного проектирования. Системный подход при решении самих задач транспортного проектирования предполагает комплексное решение транспортного обслуживания всей агломерации, т. е. не только собственно города, но и всей зоны его влияния, всего урбанизированного района. К сожалению, этот принцип в проектной практике соблюдается не всегда, что и определило искусственное с позиций транспортного обслуживания городских агломераций деление ГПТ на городской и пригородный. С позиций системного подхода никакая новая сеть дорог или МПТ, никакая транспортная линия или сооружение не могут проектироваться изолированно от всей транспортной системы, так как любые изменения в ее элементах обязательно изменяют в той или другой степени характеристики всей системы как целого. При этом нужно добиваться, чтобы транспортный проект обеспечивал оптимальное использование всех видов городского транспорта (в том числе МПТ, легкового и грузового автотранспорта, железнодорожного и др.) по общему критерию максимума народнохозяйственной эффективности в увязке с критерием максимальной оптимальности системы «Город».

§ 9.2 Транспортная часть технико-экономических основ развития города

Задачей проектных разработок технико-экономических основ развития города является изучение имеющейся или создаваемой системы группового расселения (районной планировки) и места в ней проектируемого или развивающегося города, его градообразующей базы и расчетной численности населения, действующих в районной планировке связей между населенными пунктами; обоснование выбора территории и территориального развития проектируемого города на перспективу; функционального зонирования и основ архитектурно-планировочной структуры; решение системы магистральных улиц и дорог, основных направлений развития ГПТ, инженерного оборудования и благоустройства города в увязке с вопросами охраны и санитарно-гигиенического улучшения городской среды. В составе ТЭО развития города разрабатывают схему группового расселения, показывающую его место и взаимосвязи в районной планировке, варианты выбора территории, опорный план существующего города (для развивающихся городов) или план современного (на момент начала проектирования) использования территории (для новых городов), схему анализа территории и планировочных ограничений, эскиз генерального плана (в масштабе 1 : 25 000 или 1 : 10 000), схемы магистральных улиц и дорог, городского и внешнего транспорта, инженерного оборудования и подготовки территории, санитарно-гигиенической оценки существующего (для развивающихся городов) и прогнозируемого состояния окружающей среды.

Основная задача транспортного проектирования на стадии ТЭО развития города — решение и оптимизация его транспортных связей в системе группового расселения и внешних связей с Единой транспортной системой страны; транспортная оценка предлагаемого функционального зонирования, т. е. размещения в плане города промышленных, селитебных и других зон с учетом инженерных, архитектурных, транспортных и прочих соображений. В составе эскиза генерального плана разрабатывают систему магистральных улиц и дорог, внешнего транспорта, крупные транспортные сооружения. Для оценки вариантов функционального зонирования и планировки города по транспортным критериям, расчетов ожидаемой транспортной работы и основных направлений транспортных связей, определяющих оптимальное функциональное зонирование и планировочную структуру города, на этой стадии используют методы предсетевых транспортных расчетов, в частности графо-аналитические методы транспортной оценки генерального плана (см. § 8.2).

Функциональное зонирование города на стадии ТЭО генерального плана и его планировочное решение еще окончательно не закреплены, намечены вариантно, отдельные массивы и другие городские объекты могут «передвигаться» и менять свое положение. Поэтому определяющими задачами транспортной части ТЭО генерального плана являются задачи оценки предварительных вариантов функционального зонирования и планировки города по транспортным критериям, расчеты ожидаемой транспортной потребности и основных направлений транспортных

связей, определяющих оптимальное функциональное зонирование и оптимальную планировочную структуру города.

Исходные данные для транспортного проектирования на стадии ТЭО: материалы районной планировки экономического района или промышленного узла, в котором расположен проектируемый город; фактическое состояние на момент проектирования и ведомственные проекты развития узлов внешнего транспорта; существующая и перспективная мощность и грузооборот основных промышленных предприятий; существующее состояние (основные параметры) улично-дорожной сети и МПТ — протяженность сетей, объемы перевозок, маршруты, численность подвижного состава, эксплуатационные показатели, размещение транспортных сооружений и устройств по видам транспорта и др.

В транспортном разделе ТЭО генплана приводят транспортную характеристику плана города, его улично-дорожной сети и городского транспорта; оценку вариантов размещения мест труда, жилья и отдыха по транспортным критериям; предварительные проектные схемы сетей магистральных улиц и дорог и сети МПТ на расчетный срок с ориентировочным определением целесообразности строительства и примерных трасс скоростных автодорог, магистралей непрерывного движения и скоростного рельсового транспорта с оценкой вариантов по транспортным показателям; предварительную проектную схему узла внешнего транспорта в увязке с системой транспортных коммуникаций города и пригородной зоны; диаграмму трудовых корреспонденций по результатам обследования (существующее положение); картограммы транспортных потоков (экипажеспотоков) на улицах и дорогах города по результатам обследования (существующее положение); схемы существующих устройств внешнего транспорта с перспективным развитием (в масштабе 1:20 000 или 1:25 000), сетей МПТ, магистральных улиц и дорог по основным вариантам (в масштабе 1:20 000 или 1:25 000) — существующие и проектные. Данные натурных обследований приводят, естественно, только при наличии таковых. Материалы ТЭО генерального плана, в том числе и их транспортная часть, проходят экспертизу, при которой заинтересованные стороны дают им оценку и соображения о приемлемости или неприемлемости принятых в них решений.

Предварительную перспективную комплексную транспортную схему генерального плана, составленную на стадии ТЭО, рассматривают как опорный материал для планировочного решения города и проектного расчета его ТС. Основа для проектирования предварительной транспортной схемы генерального плана — нормы СНиП II-60—75 [35] и «Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог» [14], [15].* Транспортная часть ТЭО включает в себя три раздела: предварительную схему внешнего транспорта, эскиз сети магистральных улиц и дорог, эскиз сети общественного транспорта. Эти разделы представляют собой единое целое, поэтому их составляют одновременно с некоторым опережением проектирования сетей внешнего

* Некоторые проектные организации используют и другие методические материалы, в частности методические рекомендации Киев НИИП градостроительства «Транспортные оценки вариантов градостроительных решений» Под ред. А. К. Старинкевича. Киев, 1975.

транспорта и магистральных улиц и дорог, которые оказывают определяющее влияние на транспортную структуру города, в том числе его планировочное решение и выбор сетей МПТ.

Предварительную схему внешнего транспорта составляют с указанием трасс железнодорожных линий, вокзалов, станций, железнодорожных развязок, мостов и путепроводов, расположения и территорий речных и морских портов и вокзалов, остановочных пунктов пригородного судоходства, расположения и территорий аэродромов, аэровокзалов и вертолетных площадок, сетей автомобильных дорог всех категорий, автовокзалов и автостанций. Ее дают в границах пригородной зоны, но составляют (в части пригородного пассажирского движения) как часть общей схемы общественного транспорта в системе транспортного узла города. *Транспортный узел города* — это совокупность транспортных сооружений всех видов внешнего и внутригородского транспорта, объединенных общим планированием перевозок и планом развития, а также единой организацией движения и эксплуатации.

Эскиз сети магистральных улиц и дорог дают с делением по категориям в соответствии со СНиП [35]. В основу проектирования сети магистральных улиц и дорог закладывают критерии оптимизации по затратам времени в транспортных связях МПТ, легкового и грузового автотранспорта между центром города и основными промышленными районами, центром и жилыми районами, жилыми и промышленными районами, жилыми районами и местами массового отдыха населения, а для грузового транспорта — между наиболее крупными центрами грузообразования и грузопоглощения (промышленными предприятиями, складскими базами, товарными станциями железных и автомобильных дорог, речными и морскими портами). Магистральные улицы и дороги проектируют как естественное продолжение междугородных автомобильных дорог со строгой дифференциацией по назначению в расчете на обслуживание массовых транзитных грузо- и пассажиропотоков, включая ИПТ.

Эскиз сетей общественного транспорта приводят в виде трасс линий МПТ с указанием видов транспорта (для линий скоростного транспорта всех видов показывают станции или остановочные пункты) и маршрутов. Схему маршрутов составляют как вспомогательный материал для расчета распределения пассажиропотоков, причем для облегчения проектной работы, как правило, ограничиваются составлением маршрутов только для скоростных видов МПТ. Сеть городского МПТ проектируют как единое целое с сетью пригородного транспорта и системой улиц и дорог в пределах городской и пригородной зон. Поэтому плотность сети городского МПТ соответствует плотности сети магистральных улиц.

Виды МПТ на стадии ТЭО генплана назначают ориентировочно на основе данных о перспективном населении города, его планировке, географическом положении, численности кадров промышленных районов. Сеть МПТ должна обеспечивать установленные СНиП нормы затрат транспортного времени на передвижения населения от мест жительства до мест приложения труда. Поэтому при составлении предварительной схемы МПТ в городах с населением свыше 500 тыс. человек и промышленных с вынесенными за пределы города вредными промыш-

ленными предприятиями при населенности свыше 150 тыс. человек особое внимание уделяют проектированию скоростного транспорта. К скоростным видам МПТ относят метрополитен, автобус-экспресс, скоростной трамвай, а также пригородные и внутригородские участки железных дорог, обеспечивающие скорость сообщения 25—45 км/ч. Сеть скоростного МПТ дополняют сетью уличного транспорта со скоростями сообщения в пределах селитебной территории порядка 16—18 км/ч (автобус, троллейбус, обычный трамвай). Провозную способность линий МПТ и требующуюся численность подвижного состава для обслуживания пассажироперевозок на перспективу определяют в часы пик при наполнении 3 чел/м² свободной площади пола пассажирского салона.

В характеристике современного (на момент проектирования) и перспективного планировочного состояния города приводят данные о размерах и форме освоенной территории (территории, в пределах которой существует или проектируется сеть городских путей сообщения) и размещении в плане города мест труда градообразующего и обслуживающего трудящегося населения, жилых районов и всех центров культурно-бытового, делового и другого тяготения населения. Их характеризуют рядом абсолютных и относительных показателей: площадью освоенной территории, средней плотностью заселения освоенной территории, воздушной удаленностью освоенной территории от главного (или в среднем от всех) транспортного узла города (определяется как отношение суммы моментов площадей освоенной территории относительно рассматриваемых центров к площади освоенной территории) и др.

По данным характеристики планировочного решения и транспортного обслуживания города с учетом полученных обследованииями или принятых статистических данных о подвижности населения на стадии ТЭО выполняют укрупненный транспортный расчет объема пассажирской работы транспортной системы города с аналитическим расчетом среднего по городу коэффициента пользования транспортом, транспортной подвижности населения, средней дальности целевых передвижений, распределения пассажирской работы по зонам города, ориентировочной пассажирской нагрузки транспортной системы.

§ 9.3. Транспортная часть генерального плана города в последующих стадиях градостроительного проектирования

Генеральные планы городов, поселков городского типа и проекты планировки и застройки сельских населенных пунктов разрабатывают на расчетный срок 25—30 лет с выделением первой очереди строительства, охватывающей период завершения народнохозяйственного плана текущего пятилетия и следующую пятилетку, и учетом перспектив транспортного развития города за пределами установленного расчетного срока. *Генеральный план* — основной проектный документ, отражающий направления развития, содержание и финансирование строительства города. Утвержденный генеральный план города, поселка городского типа или проект планировки и застройки сельского населенного пункта обязательны для всех строительных организаций. На их основе

разрабатывают проекты размещения строительства первой очереди, детальной планировки и застройки, специальных технических проектов по городскому транспорту, инженерным сооружениям, дорожному строительству, городскому благоустройству, озеленению и др.

В состав генерального плана включают материалы ТЭО развития города и другие документы, схему районной планировки, макет планировки и застройки общегородского центра, схему размещения строительства первой очереди. Основным проектный документ стадии генерального плана — генеральный план в масштабах 1:10 000 или 1:5000, в котором закрепляют архитектурно-планировочную структуру и функциональное зонирование города на расчетный период, сети магистральных улиц, дорог, ГМПТ, внешнего транспорта, инженерные сети и сооружения, объекты коммунального хозяйства и др.

Задачи транспортного проектирования на стадии генерального плана сводятся к расчетной проверке целесообразности и уточнению решений транспортных сетей, заложенных в эскизе генерального плана, разработанного на стадии ТЭО, по критериям удобства для населения (затратам времени в передвижениях от двери к двери, комфортабельности, безопасности движения, степени изоляции населения от транспортных коммуникаций, регулярности движения), соответствия провозной способности ожидаемым пассажиро- и грузопотокам (определяющего необходимость выбора скоростных видов ГМПТ на нагруженных направлениях), минимума требующихся приведенных капиталовложений и эксплуатационных расходов. Несмотря на то что проектный срок генерального плана сравнительно невелик (25—30 лет), в нем могут происходить социальные и другие изменения (в том числе в развитии транспортной техники), которые практически невозможно предусмотреть в проекте. Поэтому расчетные транспортные решения, полученные на стадии генерального плана, включая ожидаемые перспективные размеры движения, рассматривают лишь как гипотезу ожидаемой транспортной ситуации. Задача транспортного проектирования в этих условиях состоит в том, чтобы эта гипотеза была возможно более достоверной и обоснованной. Размеры ожидаемых пассажироперевозок на стадии генерального плана определяют методами уточненных транспортных расчетов — тем или другим вариантом метода взаимных корреспонденций транспортных районов (см. гл. 11 и 14).

Исходные данные для проектирования развития городского транспорта на стадии генерального плана: материалы ТЭО и экспертизы по ТЭО; опорный план существующего города (при расчетах транспортного развития существующих городов); общие планировочные и экономические данные (структура, численность и плотность расселения населения, допустимые капиталовложения в транспортную систему); размещение мест приложения труда (с указанием численности трудящихся), культурно-бытовых центров городского и районного значения (с указанием их расчетной вместимости и посещаемости); данные обработки и анализа транспортных обследований (если они имеются) — комплексных выборочных анкетных обследований передвижений населения, пассажиропотоков сетей МПТ городского и пригородного транспорта, корреспонденций грузов, численности и пробега автомобилей государ-

ственного автопарка и частного пользования, интенсивности пешеходного движения в местах интенсивного движения.

Транспортная часть генерального плана является развитием ТЭО в части более детальной проработки сетей магистральных улиц и дорог и общественного транспорта. По сети магистральных улиц и дорог в ней приводят по состоянию на момент проектирования, а также обосновывают и уточняют на перспективу генерального плана (20—25 лет) и первую очередь развития (5—10 лет) варианты схем сетей (начертание сети, категории улиц и дорог) с обоснованием окончательного проектного решения; картограммы грузового, легкового и суммарного автомобильного движения; положение и принципиальные схемы развязок в разных уровнях. По МПТ на те же сроки (состояние на момент проектирования, на перспективу генерального плана и первую очередь развития) выполняют технико-экономические обоснования выбора видов МПТ, уточняют расчетный вариант схемы сетей МПТ, рассчитывают картограммы пассажиропотоков по всем выбранным видам транспорта методом взаимных корреспонденций транспортных районов, обосновывают размещение в плане города основных транспортных устройств и сооружений. На все три проектных срока составляют:

а) для городов с населением более 100 тыс. человек (до 250 тыс. человек) суммарные картограммы корреспонденций между расчетными транспортными районами города и картограммы пассажиропотоков на сети МПТ;

б) для городов с населением более 250 тыс. человек (до 500 тыс. человек) картограммы потоков грузовых автомобилей, легковых автомобилей и суммарных транспортных потоков по улично-дорожной сети города в приведенных единицах (по потокам грузовых автомобилей, включая подходы к городу); схемы сети МПТ с указанием видов транспорта и размещением технических станций, депо и гаражей (в масштабе 1 : 20 000 или 1 : 25 000); схемы сети городских магистралей с размещением транспортных площадей, развязок, мостов, путепроводов, автостоянок, гаражей и других транспортных сооружений (в масштабе 1 : 20 000 или 1 : 25 000); поперечные профили основных магистралей (в масштабе 1 : 200); схемы размещения устройств и сооружений внешнего транспорта;

в) для городов с населением более 500 тыс. человек (сверх перечисленных материалов) картограммы трудовых, культурно-бытовых и суммарных корреспонденций между расчетными транспортными районами; картограммы использования пропускной способности основных магистралей и узлов города по данным обследований (существующее положение); схемы существующих маршрутов МПТ с указанием остановочных пунктов скоростного транспорта и основных технических сооружений; точечные планы размещения мест жилья, труда и культурно-бытовых фокусов тяготения (по особому заданию); километрограммы, изохронограммы и другие материалы обработки плана города графоаналитическим методом (по особому заданию); принципиальную схему транспортного обслуживания центра города (в масштабе 1 : 10 000 или 1 : 5000) с показом организации движения транспорта, системы пешеходных связей и основных автостоянок.

Как видно из приведенного перечня разработок транспортной части генерального плана, часть из них принимают по данным ТЭО. При одностадийном проектировании генерального плана последний включает в себя все разработки, выполняемые на стадии ТЭО. Особенностью проектных транспортных решений на стадии генерального плана является в целом схемный характер, их не доводят до инженерной проработки элементов транспортных систем — конструкций дорожных одежд, рельсовых путей, депо, гаражей, инженерных дорожных сооружений и др. Все эти разработки выполняют на последующих стадиях проектирования. На стадии генерального плана может быть, в частности, установлена целесообразность применения скоростных видов МПТ, но по выбору видов скоростного транспорта даны лишь принципиальные соображения.

В развитие генерального плана разрабатывают проекты размещения строительства первой очереди, проекты детальной планировки, планировки и застройки градостроительных ансамблей, проекты планировки пригородной и зеленой зон.

Проекты размещения строительства первой очереди. Проекты разрабатывают для городов со среднегодовым объемом жилищного строительства, превышающим 100 тыс. м² жилой площади. Они служат основой для организации непрерывного планирования, проектирования и строительства жилых и культурно-бытовых зданий и объектов городского хозяйства, включая транспортные. В них намечают строительство и реконструкцию магистральных улиц, дорог и транспортных сооружений, разрабатывают предложения по развитию ГПТ.

Проект детальной планировки. На стадии проекта детальной планировки (ПДП) на основе утвержденного генерального плана разрабатывают проекты отдельных частей городской селитебной территории (жилых районов, общественных центров и других функциональных зон) с целью уточнения их архитектурно-планировочной структуры, транспортного обслуживания, инженерного оборудования, благоустройства, озеленения, уточнения прогнозируемого состояния окружающей среды и т. д. Расчетный срок реализации ПДП — период завершения народнохозяйственных планов текущего пятилетия и последующей пятилетки. Схема организации движения транспорта и пешеходов, разрабатываемая в составе материалов ПДП, имеет целью детальное проектирование системы транспортного обслуживания проектируемого района, включая размещение остановочных пунктов всех видов ГМПТ, проектные решения площадей и пересечений улиц и дорог, организацию транспортного и пешеходного движения на них, размещение автостоянок, транспортных сооружений (эстакад, путепроводов, тоннелей), депо и гаражей ГМПТ, заправочных станций и станций технического обслуживания автотранспорта и т. д.

Проект планировки и застройки градостроительного ансамбля. Эта стадия планировки близка к стадии ПДП. На ней разрабатывают наиболее значимые архитектурно-планировочные элементы города (общественные центры, площади, набережные, улицы) с целью разработки и уточнения их планировочного, объемно-пространственного и композиционного решений с необходимой проработкой архитектурных де-

галей. Проекты планировки и застройки градостроительных ансамблей служат основой для последующего технического проектирования застройки их отдельных участков и разработки отдельных зданий и сооружений. Входящая в состав проекта схема организации движения транспорта и пешеходов и использования подземного пространства по входящим в нее материалам аналогична схеме организации движения транспорта и пешеходов на стадии ПДП.

Проект планировки пригородных и зеленых зон. Транспортная часть в этих проектах имеет целью уточнение (в масштабе 1:50 000 или 1:25 000) основных транспортных коммуникаций (железнодорожных, автомобильных, водных и др.), связывающих город с другими населенными пунктами городской агломерации, с зонами длительного и кратковременного отдыха (зелеными зонами) и Единой транспортной системой страны.

§ 9.4. Комплексная транспортная схема

Учитывая отставание транспортного строительства от темпов территориального роста городов, постановлением от 26 декабря 1967 г. № 1152 «О мерах по улучшению транспортного обслуживания населения городским пассажирским транспортом» Совет Министров СССР обязал горисполкомы, областные (краевые) исполкомы и советы министров автономных республик разрабатывать для всех городов с проектной численностью населения 250 тыс. человек и более комплексные схемы развития всех видов ГПТ (комплексные транспортные схемы) на проектный срок 10—15 лет с выделением первоочередных работ на ближайшие 5 лет.

В 1969 г. Госплан СССР выпустил «Указания по разработке комплексных схем развития городского пассажирского транспорта», где регламентирован состав и содержание ее проектных работ, порядок их выполнения и оформления [18].

Комплексная транспортная схема базируется на проектных транспортных разработках ТЭО и генерального плана. В отличие от них, на стадии проектных разработок комплексной транспортной схемы размещение объектов массового тяготения города уже жестко закреплено и задано генеральным планом. В соответствии с этим все внимание проектировщиков сконцентрировано на этой стадии на оптимизации транспортной системы в заданных условиях генерального плана и последовательной ее реализации по расчетным срокам. Детальная разработка сводится к выбору рекомендуемого варианта развития с определением требующихся по нему капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Утвержденная комплексная схема городского движения в целом и ГПТ всех видов является основным документом для планирования госпланами союзных республик работ и расходов по улучшению и развитию на перспективу с выделением первоочередных работ на ближайшие сроки по всем видам ГПТ, пригородному и внешнему транспорту. При этом вопросы развития городского и пригородного пассажирского транспорта прорабатывают детально, а развитие городских магистралей и улиц, грузового автомобильного и внешнего транспорта — в объемах, необходимых для принятия обоснованных решений по раз-

витию городского и пригородного пассажирского транспорта. На основе комплексной транспортной схемы специализированные проектные организации составляют проектные задания на проектирование сетей и отдельных транспортных сооружений (технические проекты и рабочие чертежи).

В состав комплексной транспортной схемы входят обоснования:

1. Развития ГПТ с учетом его современного состояния, данных обследований пассажироперевозок и прогнозируемого развития города; использования скоростных видов ГПТ — метрополитена, скоростного трамвая или экспресс-автобусов в сочетании с обычными наземными видами ГПТ; использования железнодорожных линий, в частности глубоких вводов; выявления роли легкового автотранспорта в освоении пассажироперевозок. Проектные решения доводят до обоснования оптимальных вариантов транспортных сетей и маршрутных систем, расчета требуемого количества подвижного состава, производственных мощностей эксплуатационно-ремонтной базы, специальных транспортных устройств и дорожных сооружений, средств диспетчерской связи и регулирования движения.

2. Дополнений к ТЭО развития города и генеральному плану по развитию магистральной и уличной сетей города с выделением и классификацией магистральных по значимости (городского или районного значения) и режиму движения (скоростного, непрерывного, регулируемого), выделением специальных полос движения для МПТ, проверкой соответствия ожидаемой интенсивности движения пропускной способности и обоснованием необходимости устройства обходных направлений, реконструкции тех или других участков и узлов, изменений поперечных и продольных профилей основных магистралей.

3. Развития пригородного пассажирского транспорта с установлением общего объема транспортной работы, распределения пассажироперевозок между разными видами транспорта и разработкой предложений по организации беспересадочных пассажироперевозок в агломерации город — пригород.

4. Основных проектных установок по необходимым направлениям развития внешнего транспорта, вытекающих из задач увязки его с внутригородскими и пригородными путями сообщения (железных и автодорог, междугороднего автобусного сообщения и др.).

Главная цель разработки комплексных транспортных схем состоит в осуществлении первоочередных мероприятий, обеспечивающих при минимальных затратах перевозки населения к местам приложения труда, массового отдыха и объектам культурно-бытового назначения с достаточной комфортабельностью при затратах транспортного времени, укладываемых в градостроительные нормы. В связи с этим первая очередь реализации комплексных транспортных схем должна включать в себя прежде всего мероприятия организационно-технического характера по вскрытию и эффективному использованию городских резервов [23] — введение одностороннего движения на смежных параллельных улицах; организацию движения по методу зеленой волны; реконструкцию отдельных наиболее загруженных перекрестков и площадей с целью увеличения пропускной способности; упорядочение левых поворотов

транспорта; организацию автомобильных стоянок вне проезжей части магистральных улиц; расширение сети скоростных автобусных маршрутов для связи удаленных жилых районов с центром города и тяготеющими к ним промышленными центрами; упорядочение маршрутной системы с целью снижения пересадочности и согласование работы разных видов ГПТ; рациональное распределение подвижного состава по маршрутам с учетом колебаний пассажирской нагрузки во времени; раздвижку времени начала работы на промышленных предприятиях и в учреждениях для снижения пиков транспортной нагрузки и повышения коэффициента использования в естимости подвижного состава; разгрузку городских центров от сквозных потоков транспорта, особенно грузового; развитие сети ГПТ и усиление его производственно-технической базы. Мероприятия, требующие капитальных вложений, должны согласовываться с реальными возможностями их финансирования в планируемые сроки.

На последующих этапах разработки комплексной транспортной схемы особое внимание обращают на обоснование скоростных видов городского транспорта. Это вызвано весьма высокими темпами развития в наших городах жилищного строительства на новых территориях, транспортное обслуживание которых с приемлемыми затратами транспортного времени на передвижения может быть решено, как правило, только скоростным ГПТ. Выбирают вид и трассы скоростного ГПТ на основе детальных технико-экономических сравнений с учетом численности населения и планировки города, его гидрогеологической основы, плотности расселения, расчета пассажиропотоков и нормативных сроков окупаемости капиталовложений. По выбранному варианту выполняют детальную проработку первой очереди строительства на следующее пятилетие с учетом реальной возможности выделения и освоения требующихся капиталовложений. Техническую проработку и экономическое обоснование скоростных систем ГПТ проводят с учетом влияния выбранного вида транспорта на расселение и работу подвозящих видов наземного ГПТ.

Как правило, материалы комплексной транспортной схемы базируются на проектных разработках ТЭО и генерального плана. В случае их отсутствия или слабой проработки соответствующие разделы разрабатывают в комплексной транспортной схеме в соответствии с требованиями к содержанию этих материалов в генеральном плане.

§ 9.5. Операционная схема автоматизированной системы проектирования генерального плана города

Планировочное и транспортное проектирование городов представляет собой единый процесс градостроительного проектирования. Разделение его на стадии ТЭО, генерального плана, комплексной схемы развития ГПТ и другие определяется, с одной стороны, большим объемом и разнообразием решаемых задач и, с другой, — особенностями проектного процесса, для которого характерно решение проектных задач в условиях недостаточного информационного обеспечения, т. е. объема необходимой информации для принятия окончательных решений.

Процесс градостроительного проектирования делят на стадии с учетом: 1) выделения из него по возможности замкнутых циклов расчета с ограниченным объемом обратных связей с предыдущими и последующими циклами; 2) обеспечения первоочередного решения тех задач, которые отличаются минимальной трудоемкостью и определяют последующие проектные решения. Иначе говоря, для всех градостроительных расчетов характерен иерархический принцип построения с делением на этапы (ранжированием) и такой иерархической соподчиненностью этапов, которая обеспечивает их наиболее полную оптимизацию по критериям минимума общей трудоемкости и максимума точности (достоверности).

Наиболее полное выражение принцип иерархического построения градостроительного расчета находит в автоматизированной системе проектирования генерального плана города (АСПГ), разработкой которой занимается, в частности, ЦНИИП градостроительства (Москва). Для АСПГ характерно последовательное чередование постепенно детализирующихся планировочных и транспортных задач, в составе каждой из которых решается определенный круг градостроительных вопросов на уровне той подробности исходной информации, которая проработана на предыдущих этапах, и с той степенью подробности, которая необходима для последующих проектных разработок. В схеме АСПГ (рис. 9.1) предусмотрено формирование планировочного и транспортного реше-

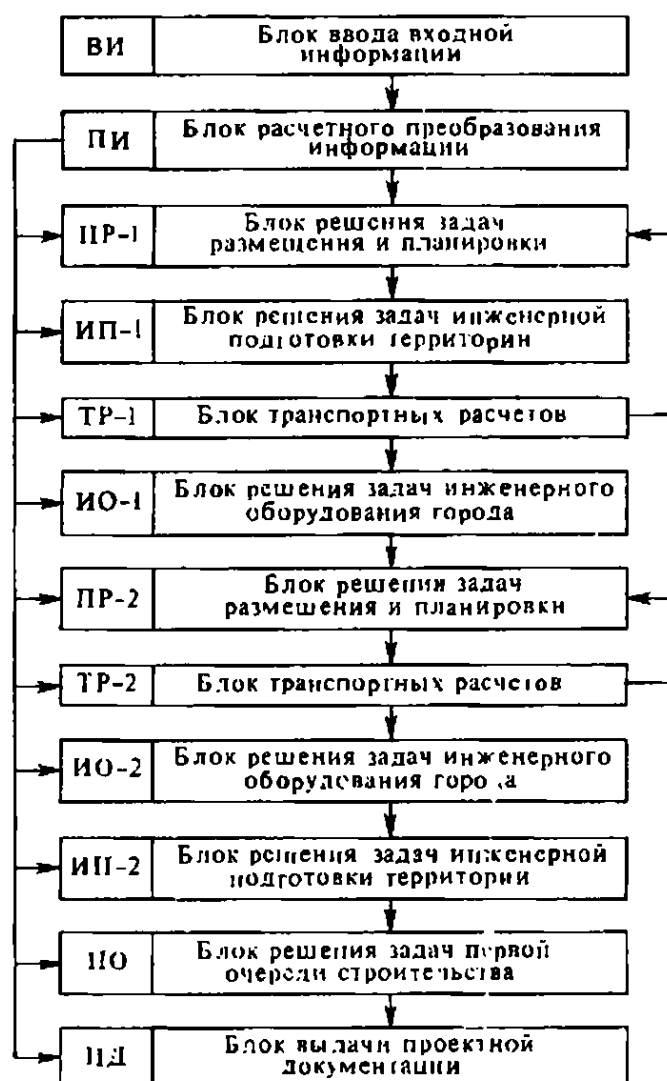


Рис. 9.1

Схема автоматизированной системы проектирования генерального плана города

ний города в две стадии, соответствующие стадиям ТЭО и генерального плана. На первой стадии расчета в блок *ВИ* поступает входная информация, обеспечивающая градостроительный расчет. Блок *ПИ* представляет собой блок кодирования и преобразования входной информации в машинный язык. Отсюда она поступает во все операционные блоки, обеспечивающие расчет. В блоке *ПР-1* решаются задачи предварительной планировки и размещения объектов города — его функционального зонирования и размещения наиболее важных городских объектов, соответствующие стадии ТЭО, в блоке *ИП-1* — такого же рода задачи инженерной подготовки территории, в блоке *ТР-1* — комплекс транспортных задач стадии ТЭО, в блоке *ИО-1* — задачи инженерного оборудования города.

Транспортные задачи на стадии ТЭО — это прежде всего задачи транспортной оценки генерального плана города. Транспортную целесообразность принимаемых градостроительных решений на этом «досетевом» уровне, т. е. до построения транспортной сети, обосновывают методами упрощенных транспортных расчетов «по воздушным расстояниям» между центрами транспортного тяготения или по условной «изотропной» сети, равномерно или с обходом препятствий и застройки, размещенной на всей потенциально пригодной территории будущего города. В результате получают определенные показатели псевдотранспортного характера, оценивающие принятую планировку города. Транспортные расчеты на досетевом уровне — это методы анализа городского транспорта для оценки его транспортных возможностей. Здесь еще имеется свобода «передвижки» объектов на генеральном плане по критериям транспортной оптимизации. Поэтому блоки *ТР-1* и *ПР-1* связаны обратной связью. Это означает, что по результатам транспортной оценки планировки, выполненной в блоке *ТР-1*, вырабатываются рекомендации по корректировке планировочного решения города в блоке *ПР-1*.

Вторую стадию расчетов начинают с детализировки планировочного решения города в блоке *ПР-2*, в результате которого прорабатываются все его планировочные зоны. Задачи транспортного расчета на этой ступени, выполняемые в блоке *ТР-2* методом взаимных корреспонденций транспортных районов, заключаются в проектировании транспортной системы, максимально «привязанной» к заданной планировке по критериям оптимизации. В блоке *ИО-2* окончательно решаются задачи инженерного оборудования города, в блоке *ИП-2* — задачи инженерной подготовки его территории, в блоке *ПО* — задачи первой очереди строительства (транспортного — в составе комплексной схемы). В блоке *ПД* формирования проектной документации результаты градостроительного расчета выдаются на печать — алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ), быстропечатающий механизм БПМ узкой печати или др. Взаимное размещение (зонирование) городских объектов на второй ступени расчетов уже закреплено. Задача заключается в том, чтобы отыскать оптимальное планировочное решение по архитектурным, экономическим и транспортным критериям. Транспортные критерии используют для оценки вариантных решений планировки по пешеходной доступности линий МПТ, зависящей от принятых размеров

межмагистральных территорий, и прямолинейности транспортных связей всех основных центров транспортного тяготения города. По результатам транспортных оценок выбирают тот вариант планировки, который наряду с другими критериями обеспечивает наилучшее транспортное решение города. Поэтому блоки *ТР-2* и *ПР-2*, *ТР-1* и *ПР-1* связаны обратной связью.

§ 9.6. Математическое моделирование и использование ЭВМ при решении градостроительных и транспортных задач

Автоматизированная система проектирования городов входит как подсистема в автоматизированную систему проектирования объектов строительства (АСПОС). Внедрение АСПОС в проектную практику предполагает полную формализацию входящих в нее задач, которые в настоящее время являются объектом разработки, но еще не имеют решения. Проектные градостроительные расчеты в системе АСПОС включают в себя решение задач районной планировки, определяющей наивыгоднейшее положение проектируемого города в системе группового расселения (агломерации, региона), территориального зонирования города, проектирования ТС, инженерных сооружений и др. Все они отличаются большой трудоемкостью, многокритериальностью и системной связанностью, требующей использования вариантных методов решения по принципу шагового процесса с возвратом. Поэтому применение в практике градостроительного проектирования ЭВМ, обеспечивающих значительное ускорение и снижение трудоемкости расчетов, приводит к коренному пересмотру его математического обеспечения, качественной перестройке, значительно расширяет возможности вариантного проектирования и оптимизации принимаемых решений.

Практика показала, что внедрение в градостроительное проектирование ЭВМ проходит два этапа. Для первого характерна разработка математических моделей обеспечения расчетов на ЭВМ отдельных градостроительных задач. Для этого общий комплекс градостроительных расчетов АСПОС разделен на подсистемы «Регион» (с фрагментами «Производство», «Культурно-бытовое обслуживание», «Транспорт», «Расселение», «Инженерные коммуникации», «Строительная база» и др.), «Город», «Жилой район», «Жилое образование и микрорайон» (с фрагментами «Транспорт», «Инженерные сети», «Производство») и др. [25]. Уровень математического обеспечения этих подсистем и фрагментов в настоящее время различен. Наиболее полное программное обеспечение имеют транспортные расчеты. Для них разработаны библиотеки машинных программ применительно к ЭВМ «Минск-22», «Минск-32», БЭСМ-4, БЭСМ-6, М-222 и др. Используются комплексы программ расчетов системы ГПТ в сетевой форме (в предположении возможности беспересадочного проезда в пределах транспортной сети между любыми центрами тяготения), разработанные в ЦНИИП градостроительства, и целый ряд других, реализованных в Гипрогоре, Моспроекте, Гипрокоммундортрансе, НИИАТ и других проектных и научно-исследовательских организациях. Они решают задачи расчета коррес-

понденций, распределения пассажиропотоков на ТС с моделированием поведения населения при выборе видов транспорта, целей и путей следования, маршрутизации пассажирских и грузовых перевозок, размещения транспортных устройств (автостоянок, гаражей, станций технического обслуживания) и др.

Установлено, что применение ЭВМ при решении даже ограниченного круга градостроительных, в частности транспортных, задач позволяет получить экономический эффект, составляющий до 2% общих капиталовложений, выделенных на строительство объектов, что составляет весьма большие суммы. Однако максимальный экономический эффект обеспечивает комплексная автоматизация градостроительного проектирования, которая дает возможность получить до 5—6% экономии капиталовложений, выделяемых на реализацию проектов, повысить надежность и научную обоснованность принимаемых решений, снизить на 20—80% затраты времени на проектно-изыскательские работы и стимулирует совершенствование теории и методов проектирования. Применение ЭВМ позволило сократить трудоемкость рутинных расчетов, освободить время проектировщиков для решения творческих задач, тщательной подготовки исходных данных и увеличения подробности расчетов, повысить их достоверность и объективность и осуществить многовариантное проектирование. Поэтому использование машинной счетной техники рассматривают в настоящее время как одно из основных направлений развития проектной практики градостроительного проектирования вообще и теории ГПП в частности.

Необходимо отметить, что несмотря на сравнительно высокое математическое обеспечение в общем комплексе задач градостроительного проектирования, транспортные расчеты все еще не имеют современной алгоритмической базы и оптимальной увязки с другими задачами. Ощущается потребность в отборе наиболее эффективных комплексов расчетных программ и их централизованном внедрении в практику работы всех проектных организаций, связанных с решением градостроительно-транспортных проблем. Необходима дальнейшая разработка методологической базы и математического обеспечения транспортных расчетов в увязке с другими задачами градостроительного проектирования в подсистеме АСПГ и АСПОС. Приемлемый на начальном этапе использования ЭВМ локальный подход к решению задач градостроительного проектирования на современном этапе уже неприемлем, так как не позволяет использовать все возможности ЭВМ. Многочисленные математические модели расчетов, созданные для подсистем АСПОС, требуют системного анализа как в методологическом плане, так и в отношении применяемого математического обеспечения. Большинство используемых в настоящее время моделей базируются на методах линейного программирования и реализуют, следовательно, линейные зависимости, тогда как для большинства задач системы АСПОС, в том числе транспортных, характерны нелинейность и стохастичность связей между определяющими переменными. Моделей и программ, имитирующих динамические транспортные процессы, пригодных для практического использования, в настоящее время еще не создано. Большинство моделей оптимизационного типа представляют собой производственно-

транспортные многоэтапные структуры, нуждающиеся в весьма больших объемах памяти ЭВМ, что ограничивает возможности их внедрения в проектную практику, и не имеющие отработанных систем информационного обеспечения. Все это определяет необходимость дальнейшей системной работы в области транспортного проектирования в направлении снижения его трудоемкости, повышения адекватности описываемым процессам, расширения областей использования вплоть до решения задач оперативной организации движения, требующих повышенной точности.

Важная методологическая проблема внедрения ЭВМ в область градостроительно-транспортного проектирования — коренной пересмотр и методологических принципов, сложившихся в условиях традиционного «ручного» метода проектирования. В частности, это касается выбора показателей оценки принимаемых решений. Сейчас для оценки транспортных решений используют десятки различных показателей, большей частью несопоставимых между собой. В условиях «ручного» метода транспортных расчетов с этим в какой-то мере можно было мириться, учитывая способность человека к сопоставлению и выбору формально несопоставимых показателей (например, комфортабельности перевозок, трудности сообщения и др.). ЭВМ выполнять такую работу не могут. Вообще попытки при переходе на машинные методы проектирования формализации сложившейся проектной практики крайне обедняют результаты автоматизации проектирования, значительно снижают ее возможную отдачу. Результативность автоматизации проектных расчетов, в частности градостроительно-транспортного проектирования, зависит от способности и решимости ученых-транспортников и проектировщиков ломать старые формы и сложившиеся традиции проектирования [38].

Г л а в а 10

ЗАКОНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

§ 10.1. Подвижность населения

Передвижения людей связаны с их жизнедеятельностью. В конкретных социально-исторических условиях потребность в передвижениях определяет уровень развития общественного производства, социальная структура общества, исторически сложившийся уклад жизни, характер расселения, развитие техники информации и связи, бюджет свободного времени, культурно-бытовые и общественные запросы отдельных людей и др. Заметим, что в теории ГПП передвижения понимают как перемещения людей от двери ПО к двери ПН (см. § 3.2). Они могут быть простыми и сложными, пешеходными и транспортными. По отношению к сети городских путей сообщения (ГПС) передвижения делят на осуществляемые на сети по транспортным и пешеходным дорогам города (в том числе пересекающие их) и вне сети ГПС. В градостроительно-транспортных расчетах, связанных с проектированием сетей ГПС, учитывают только первые передвижения, т. е. передвижения, нагружаю-

шие сеть. Вторые рассматривают только при учете затрат времени в передвижениях первой группы, нагружающих ГПС.

Интенсивность передвижений количественно выражают показателем, который называют *подвижностью населения*. Различают понятия потенциальной, реализуемой, абсолютной, общей, пешеходной и транспортной подвижности. В общем случае под подвижностью понимают количество передвижений, приходящихся на одного человека из рассматриваемой группы людей за тот или другой расчетный промежуток времени (обычно год, сутки или час пик нагрузки транспортной сети). Если в передвижениях участвуют N человек и общее количество передвижений, совершенных ими за год, A , то подвижность представляет собой математическое ожидание количества передвижений, приходящихся на одного человека (передвижений в год на одного человека):

$$p = A/N \quad (10.1)$$

Потенциальной называют подвижность, соответствующую запросу населения на передвижения, определяемому его биологической и общественной потребностью, социально-экономическими характеристиками эпохи, производственной необходимостью, исторически сложившимся укладом жизни, развитием средств информации и связи, культурными потребностями. Вследствие многофакторности и сложности взаимосвязей определить потенциальную подвижность расчетным методом не удастся.

Реализуемой называют фактическую подвижность, реализуемую в заданных условиях места и времени. Она зависит от трудности сообщения, трактуемой в широком смысле, т. е. предоставляемых населению возможностей реализации потенциальной подвижности в пределах ограничений суточного бюджета времени, связанных с законом самоорганизации (см. § 10.3), и может быть определена обследованиями. Реализуемая подвижность городского населения зависит от планировочных особенностей городов, их размеров и компактности, размещения в них центров тяготения, развития обслуживающих их транспортных систем. Все эти факторы определяют доступность объектов массового посещения, оцениваемую затратами времени на передвижения. Исследований зависимости подвижности от затрат времени на передвижения пока еще недостаточно. По данным исследований *Ф. Касумова* [25] зависимость суточной подвижности от средневзвешенных затрат времени на передвижения имеет гиперболический характер:

$$p_c = a/t_{св} - b, \quad (10.2)$$

где a и b — эмпирические коэффициенты;

$$t_{св} = \sum A_{ij} t_{ij} / \sum A_{ij} \quad (10.3)$$

— средневзвешенные затраты времени на одно передвижение;

A_{ij} — количество передвижений между центрами i и j ; t_{ij} — затраты времени на одно передвижение между i и j .

А. И. Стрельников [36] исследовал зависимость среднесуточной подвижности в функции равновероятной временной удаленности объектов

тяготения от мест жительства и выразил ее показательной функцией (рис. 10.1)

$$p_c = p_{\min} + a e^{-bt_{pv}}, \quad (10.4)$$

где $p_{\min}$ — $p_{\max}$ — пределы колебаний суточной подвижности; a и b — эмпирические коэффициенты;

$$t_{pv} = \sum A_i t_{ij} / \sum A_i \quad (10.5)$$

— равновероятная временная удаленность объектов тяготения от места жительства; A_i — селитебная емкость мест жительства.

При обследовании подвижности населения Свердловска А. И. Стрельников получил $p_{\min} = 2$, что соответствует среднегодовой подвижности $p_r = 2 \cdot 365 = 730$ передвижений/год, и $p_{\max} = 4$, что соответствует среднегодовой подвижности $p_r = 4 \cdot 365 = 1480$ передвижений/год (среднесуточная подвижность $p_{cp} = 3$ и соответствующая среднегодовая $3 \cdot 365 = 1095$ передвижений/год).

Обращает на себя внимание внешнее различие зависимостей $p_c(t_{cv})$ и $p_c(t_{pv})$, представленных на рис. 10.1. Оно связано с разным смыслом характеристик t_{cv} и t_{pv} . Величины t_{pv} устанавливают методами изохронного анализа генерального плана, а величины t_{cv} — обследованиями передвижений. Между ними существует функциональная связь, которая может быть установлена экспериментально. С учетом этой связи зависимости $p_c(t_{cv})$ и $p_c(t_{pv})$ оказываются близкими друг к другу.

Работами М. И. Каган (ЦНИИПградостроительства) и других исследователей установлено, что подвижность городского населения определяется совокупным влиянием социальных и градостроительных факторов и реализуется в пределах среднесуточных затрат времени, определяемых законом пространственной самоорганизации (см. § 10.3). Подвижность как количественная мера передвижений городского насе-

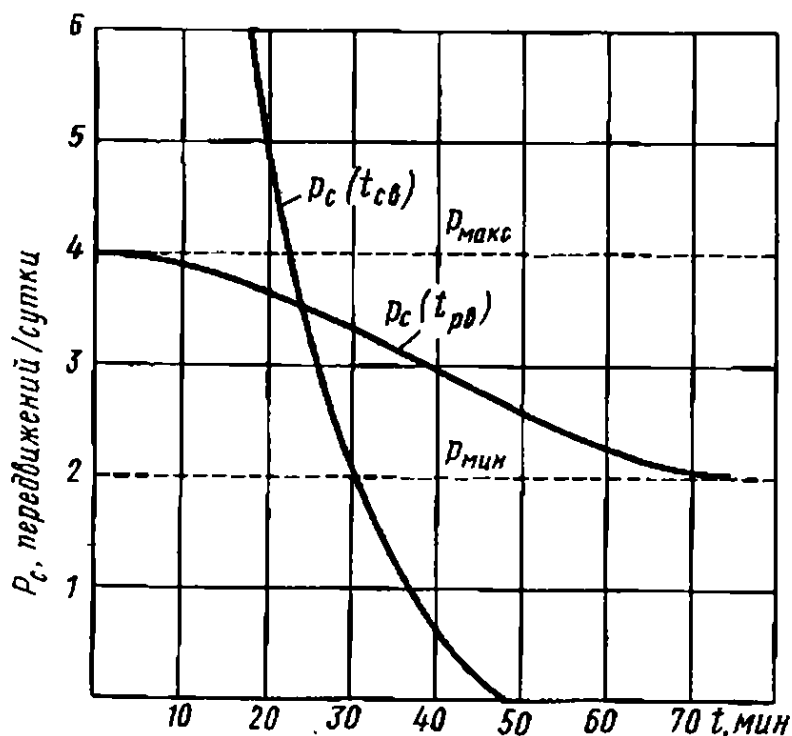


Рис. 10.1

Зависимость среднесуточной подвижности населения от средневзвешенных затрат времени на одно передвижение и равновероятной временной удаленности объектов тяготения от мест жительства

ления зависит от принадлежности жителей к той или другой социально-культурной группе, от пространственно-временных характеристик зон их проживания, работы и удовлетворения культурно-бытовых потребностей, от темпов жизнедеятельности города, определяемых его функциональной характеристикой, включающей в себя уровень культурно-бытового и транспортного обслуживания, место в системе народного хозяйства страны и планировочно-градостроительные особенности [29].

В соответствии с этим, возвращаясь к данным обследований, приведенных, например, в виде кривой $p_c(t_{рв})$ (см. рис. 10.1), величину $p_{минс}$ можно трактовать как *потенциальную подвижность* населения, обусловленную социально-экономическими потребностями в передвижениях в условиях заданной функциональной характеристики города, градостроительных ограничений и уровня транспортного обслуживания, а p — как *реализованную подвижность* в условиях той или иной равновероятной временной удаленности объектов тяготения от мест жительства. В частности, для условий Свердловска минимальная среднесуточная транспортная подвижность $p_{минс} = 2$ соответствует временной удаленности $t_{рв} = 75$ мин.

Городские пути сообщения загружают собственное население города H_r , принимающее участие в передвижениях; население пригородов $H_{г.п.}$, въезжающее в город по трудовым и культурно-бытовым целям, и приезжие из других городов $H_{г.г.}$. Население H определяют как количество жителей H , прописанных в административных границах города, за вычетом лиц H_0 , не принимающих участия в передвижениях: стационарных больных; лиц, выехавших из города в командировки, в отпуск, на дачу и др. Если b_r — среднегодовой удельный вес населения города, не принимающего участия в городских передвижениях, то

$$H_r = H(1 - b_r), \quad (10.6)$$

где $b_r = H_0/H$.

К населению H , относят иногда детское население младших возрастов, что не всегда верно. Хотя дети дошкольного возраста и не учитываются как пассажиры, но они загружают ГПС и должны учитываться при расчетах их пропускной способности.

Абсолютной подвижностью [14] называют количество передвижений, приходящихся в единицу времени (год, сутки) на одного человека, принадлежащего к рассматриваемой группе населения, участвующего в передвижениях. Абсолютная подвижность собственного населения города ($p_{а.г.}$), принимающего участие в передвижениях, населения пригородов, въезжающего по трудовым и культурно-бытовым целям ($p_{а.г.п.}$) и приезжающих из других городов ($p_{а.г.г.}$):

$$\begin{aligned} p_{а.г.} &= A_r/H_r = A_r/H(1-b_r); \quad p_{а.г.п.} = A_{г.п.}/H_{г.п.}; \\ p_{а.г.г.} &= A_{г.г.}/H_{г.г.}, \end{aligned} \quad (10.7)$$

где A_r , $A_{г.п.}$ и $A_{г.г.}$ — количества передвижений в расчетный промежуток времени, совершаемых в городе соответственно собственным на-

селением города $H_г$, участвующим в передвижениях на сети ГПС, населением пригородов $H_{г.п}$ и приезжими $H_{г.г}$ из других городов.

Абсолютная подвижность представляет собой фактическую реализуемую подвижность, которая может быть определена натурными обследованиями дорожного движения в общегородском, порайонном или позонном разрезе (для центральной, срединной и периферийной зон города).

Общей подвижностью называют [14] количество передвижений на сети ГПС в единицу времени (год, сутки, час) всеми группами населения, участвующего в передвижениях, отнесенное к количеству жителей H , прописанных в административных границах города:

$$\rho_0 = (A_г + A_{г.п} + A_{г.г})/H = A_0/H, \quad (10.8)$$

где $A_0 = A_г + A_{г.п} + A_{г.г}$ — общее количество передвижений на сети ГПС за расчетный промежуток времени.

Общая подвижность — расчетная характеристика, не определяющая фактические передвижения жителей города. Ее используют лишь для расчетов ГПС. С учетом (10.7) общую подвижность выражают через абсолютные подвижности:

$$\begin{aligned} \rho_0 &= (A_г + A_{г.п} + A_{г.г})/H = H(1-b_г)\rho_{а.г}/H + \\ &+ H_{г.п}\rho_{а.г.п}/H + H_{г.г}\rho_{а.г.г}/H = (1-b_г)\rho_{а.г} + b_{г.п}\rho_{а.г.п} + b_{г.г}\rho_{а.г.г} = \\ &= \rho_{отн.г} + \rho_{отн.г.п} + \rho_{отн.г.г}, \end{aligned} \quad (10.9)$$

где $b_{г.п} = H_{г.п}/H$, $b_{г.г} = H_{г.г}/H$ — удельный вес относительно населения H в расчетный промежуток времени (год, сутки, час) населения пригородов, въезжающего в город по трудовым и другим целям и приезжающего из других городов; $\rho_{отн.г} = (1-b_г)\rho_{а.г}$ — относительная подвижность населения города; $\rho_{отн.г.п} = b_{г.п}\rho_{а.г.п}$ — поправка относительной подвижности населения города за счет населения пригородов, нагружающего улично-дорожную сеть города; $\rho_{отн.г.г} = b_{г.г}\rho_{а.г.г}$ — поправка относительной подвижности населения города за счет приезжающего населения из других городов.

Передвижения на сетях ГПС осуществляются частью пешком по пешеходным путям сообщения и частью на массовом (МПТ) или индивидуальном (ИПТ) пассажирском транспорте. В соответствии с этим общую подвижность ρ_0 делят на пешеходную и транспортную, а транспортную — на подвижность МПТ и подвижность ИПТ:

$$\rho_0 = A_0/H = (A_{пеш} + A_{тр})/H = \rho_{пеш} + \rho_{тр}; \quad (10.10)$$

$$\rho_{тр} = A_{тр}/H = (A_{мпт} + A_{ипт})/H = \rho_{мпт} + \rho_{ипт}, \quad (10.11)$$

где $A_{пеш}$ и $A_{тр}$ — количество пешеходных и транспортных передвижений, приходящихся на одного жителя города в год; $A_{мпт}$ и $A_{ипт}$ — количество транспортных передвижений, осуществляющихся с использованием МПТ и ИПТ (в расчете на одного жителя в год); $\rho_{пеш}$, $\rho_{тр}$, $\rho_{мпт}$ и $\rho_{ипт}$ — подвижность соответственно пешеходная, общая транспортная, МПТ и ИПТ.

Следует отметить, что транспортную подвижность $p_{тр}$ в (10.10) и (10.11) определяют как количество передвижений в год на одного жителя, осуществляемых с использованием транспортных средств. Оно численно равно количеству сетевых поездок населения в городе за рассматриваемый период. Это следует помнить, так как при обследованиях и по отчетным данным обычно определяют объем передвижений в маршрутных поездках. Подвижность в маршрутных поездках может намного превышать рассчитанную в сетевых:

$$p_{МПТ(м)} = p_{тр} k_{пер}, \quad (10.12)$$

где $k_{пер}$ — средний коэффициент пересадочности в сетевых поездках.

На формирование показателя подвижности городского населения в каждом конкретном социально-историческом условиях оказывают влияние две группы факторов: роста и спада. Факторами роста являются такие, как увеличение территориальных размеров городов, прогресс средств ГПТ и увеличение доступности сообщений, снижение стоимости проезда; факторами спада — рост трудности сообщений, развитие средств техники связи и информации. Одновременное воздействие на подвижность факторов роста и спада определяет объективное существование оптимальных величин подвижности, отвечающих конкретной социально-исторической эпохе, времени и месту.

Корреспонденции населения подчиняются статистическим закономерностям и должны исследоваться статистическими методами с дифференциацией по демографическим, социальным, профессиональным, квалификационным, образовательным и другим признакам. Однако обилие признаков классификации усложняет расчет корреспонденций, поэтому в обычной практике транспортных расчетов их количество максимально сокращают.

Материалы обследований показывают, что фактическая подвижность населения в городах СССР имеет весьма большие колебания, отражающие их специфические природные, планировочные, социальные и транспортные особенности. Обычно в качестве обобщающего фактора при анализе транспортной подвижности принимают численность городского населения, хотя фактически более сильное влияние на нее оказывают социально-экономические факторы, в частности место города в системе народного хозяйства страны (город союзного, республиканского, краевого, районного значения и т. п.). Подвижность рассматривают как функцию населенности города просто потому, что этот параметр легко поддается определению, тогда как социально-экономические факторы не выражаются единым легко доступным для измерения показателем.

Распределение транспортной подвижности по отчетно-статистическим данным [2] в городах СССР с различной населенностью (в маршрутных поездках) показано на рис. 10.2. Точками обозначены города, кривыми — распределение средней подвижности и среднеквадратичных отклонений от нее. Анализ данных изменения транспортной подвижности по городам СССР в историческом плане показывает, что в целом по стране подвижность населения возрастает незначительно. Большой ее

рост наблюдается в основном только в городах с небольшой численностью населения благодаря тому, что уровень их транспортного обслуживания быстро растет и постепенно приближается к уровню обслуживания крупных городов. По величине транспортной подвижности все города одной группы населенности могут быть условно разделены на три категории: города с транспортной подвижностью, превышающей верхний предел среднеквадратичных отклонений, с умеренной транспортной подвижностью, лежащей в пределах среднеквадратичных отклонений, и низкой, лежащей ниже предела среднеквадратичных отклонений. В группу городов с высокой транспортной подвижностью входят почти все столицы союзных республик, а также ряд областных и культурных центров. Высокая подвижность населения в этих городах обуславливается их более высокой транспортной обслуженностью и значительным количеством пригородных и иногородних пассажиров, поездки которых при подсчетах подвижности относят на жителей города. В категорию с низкой транспортной подвижностью входят города с менее удобной планировкой, усложняющей транспортное обслуживание (Волгоград) и плохой организацией работы МПТ (Ташкент, Душанбе). Сюда же относят крупные промышленные центры (Макеевка, Нижний Тагил, Рыбинск, Караганда) и города-спутники (Подольск, Мытищи, Новокуйбышевск, Электросталь). Низкая транспортная подвижность в них обусловлена или низким коэффициентом пользования транспортом благодаря размещению жилых районов в непосредственной близости к месту работы и культурно-бытовым центрам, или большим развитием

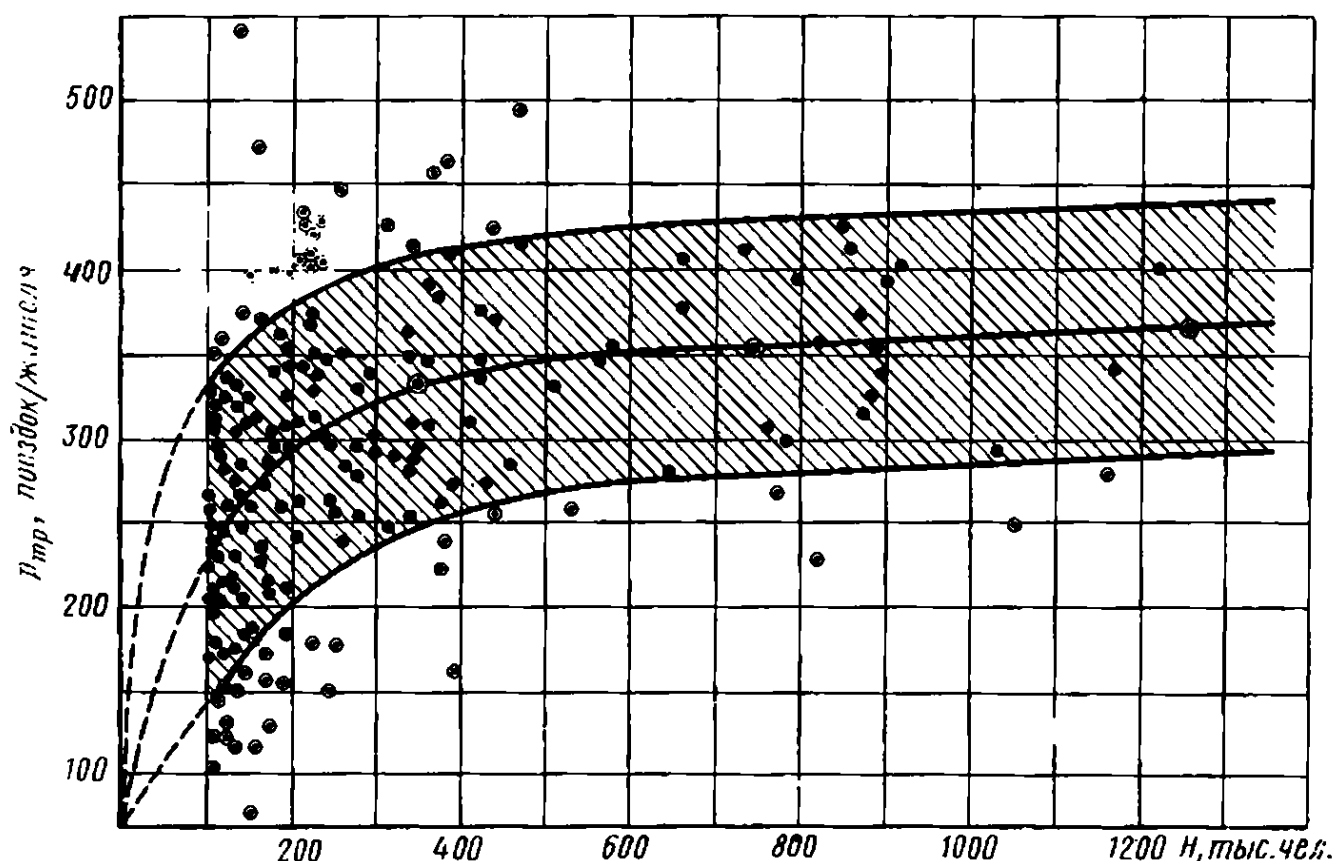


Рис. 10.2

Зависимость транспортной подвижности от населения городов по отчетно-статистическим данным о пассажироперевозках

служебного и железнодорожного транспорта, поездки на которых в отчетно-статистические данные не включают.

Таким образом, колебания транспортной подвижности обуславливают, с одной стороны, специфические природные, планировочные и транспортные особенности рассматриваемых городов, их социальные условия и, с другой стороны, методологические особенности и различия учета пассажироперевозок в проводимых обследованиях. Наличие последних приводит к несравнимости материалов разных обследований и указывает на необходимость разработки единых методологических принципов натурных обследований пассажироперевозок, которые должны быть закреплены в руководящих технических материалах (РТМ) Министерств коммунального хозяйства (МКХ и МЖКХ) союзных республик. Обращает на себя внимание существенная зависимость транспортной подвижности от климатических условий обследуемых городов. Наиболее высокая подвижность наблюдается в городах с умеренно-теплым климатом (Прибалтика, Украина, Молдавия, Кавказ и Центральная черноземная полоса), более низкая — в городах Сибири, Средней Азии и Нижнего Поволжья. В городах с умеренно-теплым климатом подвижность выше на 25—35%.

Транспортная подвижность населения — основная исходная величина в транспортных расчетах при проектировании транспорта. Поэтому правильность ее выбора определяет точность всего расчета, включая проектирование ТС, обоснование маршрутной системы, выбор видов транспорта и т. д. Практически ею задаются на основании обработки отчетно-статистических данных и натурных обследований с учетом перспективного территориального роста и фактических данных о подвижности населения городов, сходных с проектируемым по численности населения, планировочной структуре, уровню транспортного обслуживания, социальному составу населения, географическому расположению, рельефу и т. д. Однако совершенно одинаковых городов нет. Поэтому принятую величину транспортной подвижности часто уточняют расчетом. Расчетную транспортную подвижность населения определяют с учетом того, что при прочих равных условиях она зависит в основном от социального состава населения и распределения корреспонденций по целям. По социальному составу городское население разделяют обычно на три или четыре группы:

1. Трудящиеся (рабочие и служащие) градообразующих предприятий и учреждений, т. е. предприятий и учреждений, на базе которых создается город: заводов и фабрик добывающей или обрабатывающей промышленности, морских или речных портов, курортных комплексов и др.

2. Трудящиеся (рабочие и служащие) обслуживающих предприятий и учреждений — жилищно-коммунального хозяйства, торговых центров, культурно-бытовых центров и др.

3. Учащиеся вузов, техникумов и технических училищ.

4. Несамодостаточное население (дети дошкольного и школьного возраста, пенсионеры, домохозяйки, инвалиды).

По средним данным удельный вес рабочих и служащих $H_{рс} = 50\%$ (из них рабочих и служащих градообразующих предприятий — 30% и

обслуживающих предприятий — 20%), учащихся вузов, техникумов и технических училищ $H_{\text{т.н}} = 5\%$ и несамодеятельное население — 45%. Население делят по социальным группам из расчета получения минимальной дисперсии подвижности в каждой группе и одинакового временного распределения поездок по часам суток, дням недели и сезонам года. Иногда рабочих и служащих градообразующих и обслуживающих предприятий объединяют в одну социальную группу, а при повышенных требованиях к точности расчет подвижности проводят не по четырем, а по большему количеству социальных групп. Сложность и трудоемкость расчетов при этом соответственно повышается.

По целевому признаку передвижения населения делят как минимум на две группы:

1. Трудовые — передвижения рабочих и служащих от мест жительства к местам приложения труда и обратно, передвижения учащихся вузов, техникумов и технических училищ к местам учебы и обратно, передвижения школьников к школам и обратно. В транспортных расчетах важно учитывать распределение передвижений не только по целям и направлениям, но и по времени, так как они могут создавать пиковые нагрузки ГПТ.

2. Культурно-бытовые передвижения населения всех социальных групп к предприятиям культурно-бытового обслуживания и обратно, зрелищным учреждениям, торговым центрам и др.

Иногда в самостоятельную группу выделяют деловые передвижения — передвижения рабочих и служащих в течение рабочего дня в связи с производственными нуждами предприятий и учреждений.

В соответствии с принятым делением городского населения по социальным группам и передвижений по целям различают подвижность грудящихся (рабочих и служащих), учащихся и несамодеятельного населения в трудовых, деловых и культурно-бытовых передвижениях:

$$P_0 = P_{\text{т.р.с}} + P_{\text{т.уч}} + P_{\text{д.р.с}} + P_{\text{кб.р.с}} + P_{\text{кб.уч}} + P_{\text{кб.н.с}}, \quad (10.13)$$

где первые буквы в индексе обозначают целевую группу передвижений (т — трудовые, д — деловые, кб — культурно-бытовые); вторые — группу социального состава участвующих в передвижении людей (р.с — рабочие и служащие, уч — учащиеся, н.с — несамодеятельное население).

Наиболее детерминированными в современных городах являются трудовые корреспонденции населения, которые складываются под влиянием жестких связей занятого населения с местами работы. Поэтому они легко поддаются расчету. Трудовая подвижность рабочих, служащих и учащихся

$$P_{\text{т}} = 2(T_{\text{т}} - A_1 - A_2 - A_3 - A_4), \quad (10.14)$$

где первый сомножитель учитывает два направления передвижений — на работу (учебу) и с работы (учебы); $T_{\text{т}} = 365$ — число календарных дней в году; A_1, A_2 — число выходных и праздничных дней в году; A_3 — дни отпуска; A_4 — среднестатистическое число дней болезни.

При шестидневной рабочей неделе $A_1 = 365/7 = 52$, при пятидневной рабочей неделе — $A_1 = (365/7) \cdot 2 = 52 \cdot 2 = 104$. Число праздничных дней в году $A_2 = 6$. Число дней отпуска и среднестатистическое число дней

болезни определяются профессиональной принадлежностью рабочих и служащих. Принимая, например, для рабочих и служащих при пятидневной неделе $A_1 = 104$, $A_2 = 6$, $A_3 = 18$, $A_4 = 7$, получим:

$$\begin{aligned} p_{т.р.с} &= 2(T_r - A_1 - A_2 - A_3 - A_4) = 2(365 - 104 - 6 - 18 - 7) = \\ &= 2 \cdot 230 = 460 \text{ передвижений/год.} \end{aligned}$$

Аналогично для трудовых передвижений учащихся вузов при шестидневной рабочей неделе $A_1 = 52$, $A_2 = 6$, $A_3 = 48$, $A_4 = 8$ и примерно $52 \cdot 2/5 = 21$ дней самостоятельной работы, не требующих посещения вуза:

$$\begin{aligned} p_{т.уч} &= 2(T_r - A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - 52 \cdot 2/5) = 2(365 - 52 - \\ &- 6 - 48 - 8 - 21) = 2 \cdot 230 = 460 \text{ передвижений/год.} \end{aligned}$$

Трудовые передвижения — основная группа корреспонденций городского населения. В часы пик, на которые рассчитывают максимальную пропускную и провозную способность транспортной системы, трудовые пассажиропотоки составляют обычно не менее 70% ее загрузки. Тем не менее значительную долю в общем объеме транспортной работы (более 50%) занимают культурно-бытовые передвижения, которые практически не поддаются расчету. В отличие от трудовых передвижений, количество которых в расчете на одного трудящегося остается неизменным в городах всех групп населенности, культурно-бытовые существенно зависят от трудности сообщения и определяющих ее факторов (планировочной структуры городов, уровня их транспортной обслуженности, топографических особенностей и социального состава населения). Практически ее определяют на основе массовых анкетных обследований или принимают по результатам таких обследований в городах, имеющих аналогичную насыщенность предприятиями культурно-бытового назначения.

Подвижность населения различна в разных зонах одного города. В Москве, например, по данным исследований Н. А. Рудневой (ЦНИИП градостроительства) [16] среднесуточная подвижность жителей периферийных жилых районов и районов центральной зоны составляет соответственно 3,34 и 3,52 передвижений/сут. на жителя.

Территориальное и целевое распределение передвижений населения [16] жилых районов по Москве (%) показано в табл. 10.1.

Данные таблицы показывают, что культурно-бытовые передвижения жителей и центральных, и периферийных районов замыкаются в основном в микрорайонах (соответственно 47,5 и 59,5%), а трудовые зависят от распределения в плане города мест приложения труда. В центральных районах Москвы в зонах микрорайонов замыкается только 8,7% трудовых передвижений, большая их часть приходится на долю других районов. В периферийных районах в зонах микрорайонов замыкается 26,5% трудовых передвижений, остальные приходятся на зону жилого района, центральную зону и зоны других районов. Распределение культурно-бытовых передвижений по целям [16]: хозяйственно-бытовые — 75%, связанные с отдыхом — 13%, гостевые — 3%, культур-

Таблица 10.1

Зоны городов, в которые совершаются передвижения из жилого района	Цели передвижений			
	Центральный жилой район		Периферийные жилые районы	
	трудо- вые	культурно- бытовые	трудо- вые	культурно- бытовые
Жилые микрорайоны	8,7	47,5	26,5	59,5
Жилые районы (исключая микрорайоны)	25,4	16,3	21,1	13,6
Центральная зона города	22,9	7,1	20,2	4,6
Зоны прочих районов города	43	29,1	32,2	22,3
Итого . . .	100	100	100	100

но-просветительные — 3%, с лечебными целями — 2%, с учебно-образовательными целями — 1%, прочие — 3%.

Деловая подвижность обычно не имеет существенного веса в общей и поэтому принимается по результатам статистических обследований в долях трудовой подвижности рабочих и служащих. В транспортных расчетах принимают $p_{д.р.с} = 0,05 p_{т.р.с}$. Возможные деловые передвижения учащихся, связанные с производственными нуждами школ и других учебных заведений, в расчетах обычно не учитывают.

Общее количество передвижений в год при заданной, принятой или определенной расчетом общей подвижности p_o :

$$A_o = p_o H. \quad (10.15)$$

§ 10.2. Вероятность выбора населением способа передвижения

Проблема выбора населением способа передвижений (распределения передвижений по видам транспорта) в теории транспортных систем — одна из краеугольных, поскольку решение ее определяет достоверность транспортных расчетов, нагрузку и народнохозяйственную эффективность вкладываемых в них капиталовложений. Сложность этой проблемы связана с необходимостью прогнозирования отношения различных групп населения к предоставляемым ему средствам передвижения, которое зависит от множества факторов: видов предлагаемого транспорта, характеристик его комфортабельности, регулярности движения, скорости сообщения, плотности транспортной сети и др. На выбор способа передвижения влияет поло-возрастной и социальный состав населения, цели передвижений (трудо-вые, культурно-бытовые), система тарифов и т. д. Их изучают методами натурного обследования и корреляционного анализа. Имеются попытки создания и теоретических моделей этого явления [33].

В зависимости от качества предоставляемых транспортных услуг, оцениваемого скоростью сообщения, различными показателями ком-

фортабельности и регулярностью движения, вероятность выбора населением i -го вида ГПТ [34]

$$p_i = f[\alpha \lg(a_i/a_0) + \beta \lg(b_i/b_0) + \dots], \quad (10.16)$$

где $\alpha \lg(a_i/a_0)$, $\beta \lg(b_i/b_0) \dots$ — количественные оценки составляющих a_i , $b_i \dots$ качества i -го вида ГПТ в сравнении с соответствующими характеристиками a_0 , $b_0 \dots$ пешеходных передвижений.

Отношения a_i/a_0 и b_i/b_0 могут устанавливаться натурными обследованиями передвижений, анкетными методами и методами экспертных оценок. Соотношение вероятностей P_i разных видов ГПТ дает возможность установить уровни предпочтения их по сравнению с пешеходными передвижениями и друг с другом.

В практике транспортных расчетов общее количество передвижений A_0 разделяют на пешеходные и транспортные с использованием коэффициентов пользования транспортом $\varphi_{тр}$ и $\varphi_{МПТ}$, которые находят в виде функций определяющих параметров методами экспериментальных исследований:

$$\varphi_{тр} = A_{тр}/A_0 \text{ и } \varphi_{МПТ} = A_{МПТ}/A_{тр}. \quad (10.17)$$

Если известны A_0 и коэффициенты $\varphi_{тр}$ и $\varphi_{МПТ}$, то

$$A_{тр} = A_0 \varphi_{тр} \text{ и } A_{МПТ} = A_{тр} \varphi_{МПТ} = A_0 \varphi_{тр} \varphi_{МПТ}. \quad (10.18)$$

Коэффициент $\varphi_{тр}$ выделяет из общих передвижений транспортные, а $\varphi_{МПТ}$ — транспортные, реализуемые на ГМПТ. Различают коэффициент пользования транспортом $\varphi_{тр}$ в передвижениях A_{ij} между конкретными центрами тяготения i и j и средний по городу коэффициент пользования транспортом $\varphi_{тр\text{ ср}}$. Первый из них определяется конкретными характеристиками транспортной связи между центрами i и j , второй — интегральной характеристикой транспортной ситуации в городе. В современных условиях коэффициент $\varphi_{тр\text{ ср}}$ определяют два главных показателя: населенность города N и степень его автомобилизации. Из рис. 10.3, а видно, что $\varphi_{тр\text{ ср}}$ увеличивается с ростом населенности города N (а следовательно, его территориальных размеров) и уровня автомобилизации (кривая 1 соответствует невысокому уровню автомобилизации 50 автомобилей на 1000 жителей, кривая 2 — умеренному уровню — от 50 до 150 автомобилей на 1000 жителей, кривая 3 — высокому уровню — до 500 автомобилей на 1000 жителей) [4]. Коэффициент $\varphi_{тр}$ определяют в функции расстояния передвижения l и приведенной скорости сообщения $v_{с\text{ пр}}$, зависящей [14] от выбора способа передвижения (рис. 10.3, б), продолжительности t и целей передвижения (рис. 10.3, в). (Здесь кривая 1 — трудовые, 2 — культурно-бытовые, 3 — учебные передвижения по данным обследования Ленинграда [11]), дальности передвижения l и плотности транспортной сети δ (рис. 10.3, г). Коэффициент $\varphi_{тр}$ растет с увеличением дальности и приведенной скорости передвижения, причем наиболее интенсивный рост наблюдается в зоне небольшой дальности. Благодаря этому расчет $\varphi_{тр}$ для передвижений на дальние расстояния получается более точным, чем на короткие. Наибольшие погрешности связаны с расчетами пере-

движений на расстояние до 1—1,5 км. Зависимости $\varphi_{тр}(t)$ (рис. 10.3, в) свидетельствуют о том, что наиболее высокие коэффициенты пользования транспортом характерны для трудовых и наименьшие — для культурно-бытовых передвижений. Наконец, $\varphi_{тр}$ резко увеличивается с ростом плотности транспортной сети δ , определяющей ее доступность для населения.

Иногда принимают коэффициент пользования транспортом в виде линейной функции дальности передвижений l :

$$\varphi_{тр}(l) = \lg \frac{l}{l_n} / \lg \frac{l_v}{l_n}, \quad (10.19)$$

где l_n — нижнее пороговое расстояние, до которого все передвижения совершаются пешком: l_v — верхнее пороговое расстояние, после которого все передвижения осуществляются на транспорте.

При $l = l_n$ получаем $\varphi_{тр}(l) = 0$, при $l = l_v$ имеем $\varphi_{тр}(l) = 1$ (рис. 10.4, а).

Пороговые расстояния l_n и l_v пешеходного передвижения выразим в затратах транспортного времени:

$$t_n = l_n / v_{пеш}; \quad t_v = l_v / v_{пеш}. \quad (10.20)$$

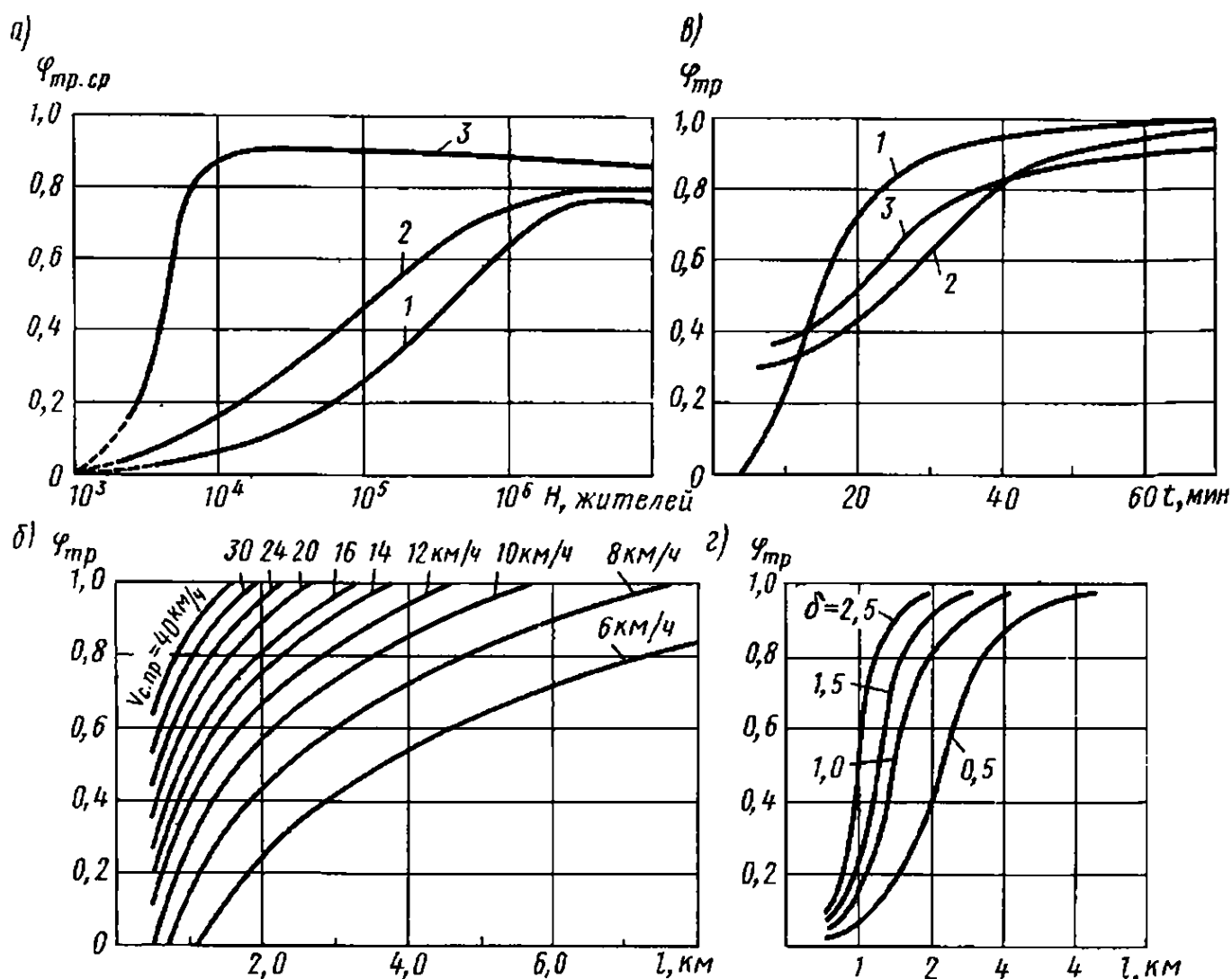


Рис. 10.3

Зависимость среднего по городу коэффициента пользования транспортом от его населенности и уровня автомобилизации

С учетом (10.20) коэффициент пользования транспортом $\varphi_{гр}(l)$ можно задать зависимостью $\varphi_{гр}(t)$.

Величина нижнего порогового расстояния l_n зависит от плотности ТС, длины перегонов на линиях МПТ, климатических особенностей района и возрастной структуры городского населения (в среднем принимают $l_n = 0,5$ км). От тех же факторов зависит и величина верхнего порогового расстояния l_b , но в основном ее определяет цель поездки. Для трудовых передвижений $l_b = 2$ км, для культурно-бытовых $l_b = 3$ км. Расстояниям 0,5; 2 и 3 км при $v_{пеш} = 4$ км/ч соответствуют затраты времени соответственно 7,5; 30 и 45 мин. Рассмотренные зависимости $\varphi_{гр}(l)$ и $\varphi_{гр}(t)$ показаны на рис. 10.4, б (1 — для трудовых поездок, 2 — для культурно-бытовых поездок).

Транспортные передвижения складываются из передвижений на МПТ и прочих видах ГПТ (индивидуальном, ведомственном и таксомоторном, если последний не является одним из видов МПТ):

$$A_{тр} = A_{МПТ} + A_{ИПТ} = A_{МПТ} / \varphi_{МПТ}. \quad (10.21)$$

Выделение объема перевозок МПТ из общего объема транспортных $A_{тр}$ требует изучения распределения последних по видам ГПТ в зависимости от определяющих факторов. В большинстве случаев можно принимать, что все транспортные передвижения, кроме транспортных МПТ, осуществляются легковыми автомобилями. Основным фактором, определяющим распределение пассажироперевозок между МПТ и легковыми автомобилями, является степень автомобилизации a_A (в автомобилях на 1000 жителей), но он не единственный. Распределение пассажироперевозок между МПТ и ИПТ определяют также такие факторы, как стоимость эксплуатации легкового автомобиля индивидуального пользования, климатические ограничения его использования, развитие станций технического обслуживания, техническое состояние и загруженность городских магистралей автотранспортом и др. Зависимость $\varphi_{МПТ}(a_A)$ показана на рис. 10.5, а. Она построена по зарубежным данным и может использоваться в транспортных расчетах, но требует уточнения, так как климатические и другие ограничения использования

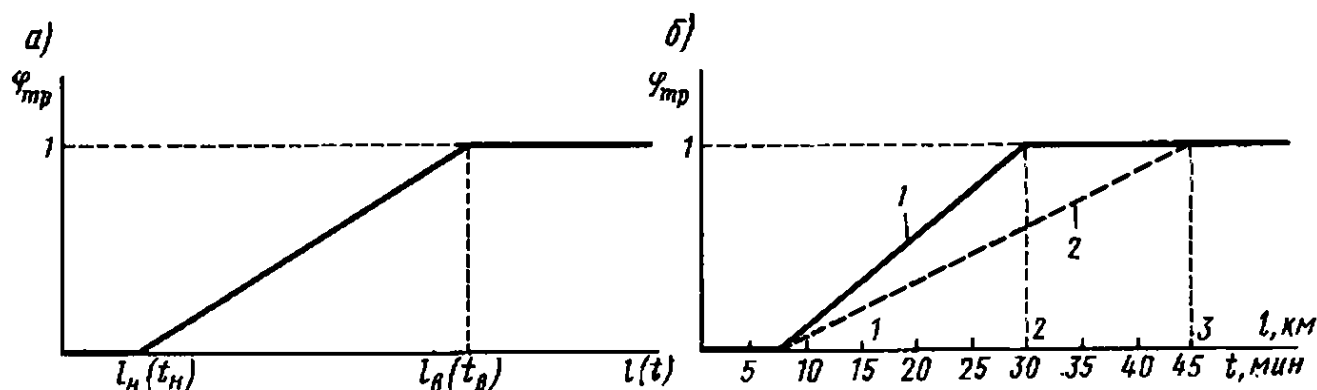


Рис. 10.4

Расчетная зависимость коэффициента пользования транспортом от расстояния и трудности передвижения

легковых автомобилей в СССР отличаются от зарубежных. В градостроительных расчетах ЦНИИП градостроительства рекомендует использовать зависимость коэффициента пользования МПТ в виде функции отношения затрат времени в поездках с использованием МПТ ($t_{мпт}$) и легкового автомобиля (t_a), характеризующего сравнительный уровень удобств, связанных с использованием МПТ (рис. 10.5, б).

По (10.18) находят количество сетевых поездок. Для определения количества маршрутных поездок должен быть учтен *средний коэффициент пересадочности* $k_{пер}$, представляющий собой отношение количества маршрутных поездок $A_{мпт(м)}$ к соответствующему им количеству сетевых $A_{мпт(с)}$:

$$k_{пер} = A_{мпт(м)} / A_{мпт(с)}. \quad (10.22)$$

Отсюда количество маршрутных поездок

$$A_{мпт(м)} = A_{мпт} k_{пер}. \quad (10.23)$$

Коэффициент пересадочности зависит от размеров территории города, начертания ТС в плане города, размещения мест транспортного глотения, совершенства маршрутной системы и системы тарифа оплаты проезда. В укрупненных транспортных расчетах может быть использован график зависимости коэффициентов пересадочности от населенности городов, показанный на рис. 10.6, а, по данным опроса в 24 городах при переписи населения СССР, проведенной в 1970 г. [2].

В транспортных расчетах методом взаимных корреспонденций транспортных районов (см. § 11.4 и § 14.1) с учетом маршрутизации средний коэффициент пересадочности $k_{пер}$ получают анализом пересадочности в передвижениях с учетом объемов передвижений:

$$k_{пер} = \sum A_{ij} k_{пер\ ij} / \sum A_{ij}, \quad (10.24)$$

где A_{ij} — объем передвижений; $k_{пер\ ij}$ — количество пересадок в передвижениях между транспортными районами i и j . Суммирование распро-

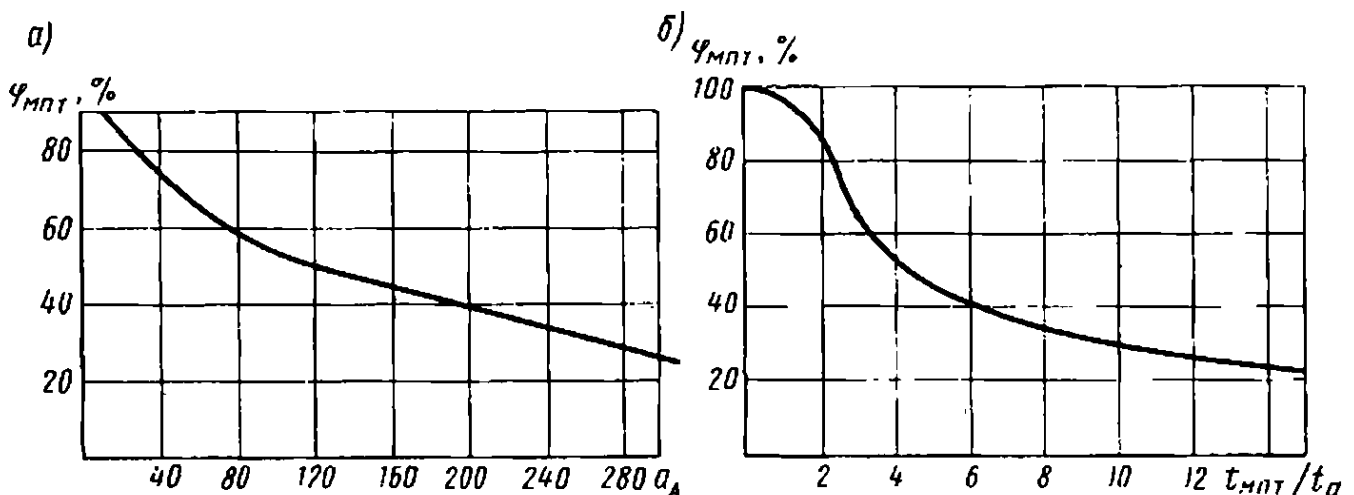


Рис. 10.5

Зависимости коэффициента пользования массовым пассажирским транспортом

страняется на все передвижения сети или рассматриваемых видов ГМПТ.

Учитывая (10.23), вводят понятие маршрутной или учетной транспортной подвижности МПТ:

$$\rho_{МПТ(м)} = A_{МПТ(м)} / H = A_{МПТ} k_{пер} / H = \rho_0 \varphi_{тр} \varphi_{МПТ} k_{пер}. \quad (10.25)$$

Подвижность $\rho_{МПТ(м)}$ называют учетной потому, что ее можно определить не только расчетом, но и статистическим методом, обрабатывая данные учета пассажиров по результатам обследований, проводимых в транспортных хозяйствах (см. § 16.1 и § 16.2). Последняя составляет, например, в Москве — 633, Ленинграде — 610, Киеве — 589, Минске — 418, Риге — 497 маршрутных поездок МПТ на одного жителя в год. При ориентировочных транспортных расчетах учетную транспортную подвижность МПТ для городов разной населенности можно принимать по рис. 10.6, б.

Прогнозирование транспортной подвижности в укрупненных транспортных расчетах аналитическими методами дает сравнительно невысокую достоверность по причине больших допущений. Поэтому ее рекомендуют принимать по отчетно-статистическим данным (см. рис. 10.2) исходя из предельных значений подвижности в городах аналогичной группы населенности с учетом планировочных, географических, демографических и других особенностей. Рекомендуемая по отчетно-статистическим данным маршрутная транспортная подвижность МПТ для городов СССР на ближайшую и отдаленную перспективу приведена в табл. 10.2.

§ 10.3. Законы пространственной самоорганизации населения по затратам времени в передвижениях

Закономерности формирования передвижений городского населения определяются его *пространственной самоорганизацией*, под которой понимают объективно наблюдающийся факт приспособливания расселения населения к тем или другим изменениям в транспортном обслуживании или размещении предприятий, жилых массивов и других цент-

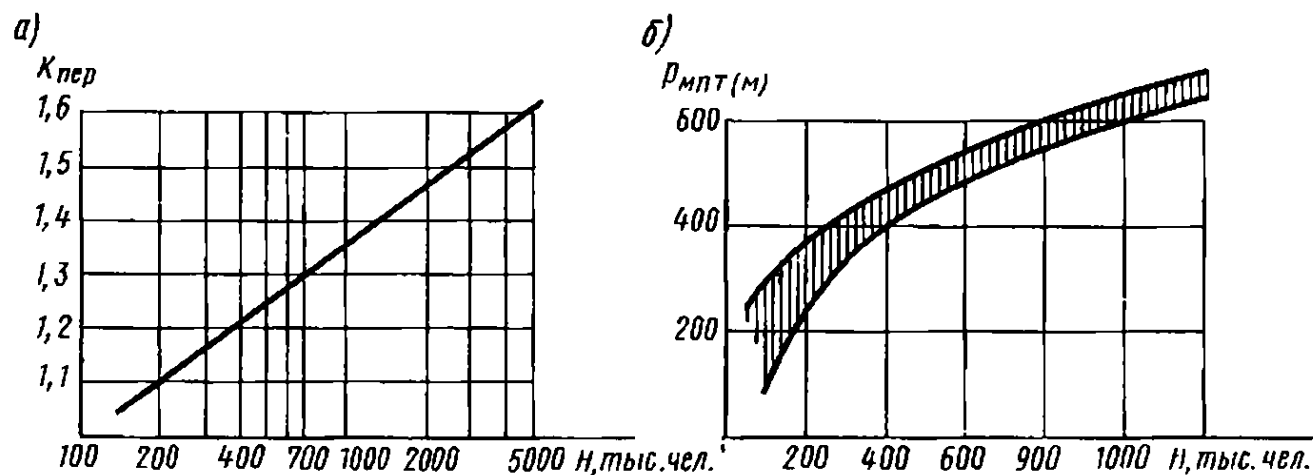


Рис. 10.6

Зависимости коэффициента пересадочности (а) и учетной транспортной подвижности в маршрутных поездках МПТ (б) от населенности города

Т а б л и ц а 10.2

Группа города по населенности (численность населения города, тыс. человек)	Транспортная подвижность МПТ (количество маршрутных поездов на одного городского жителя в год)			
	Ближайшая перспектива		Отдаленная перспектива	
	Средняя подвижность	Допустимые пределы колебаний	Средняя подвижность	Допустимые пределы колебаний
I (1000—2000)	575	520—630	635	580—690
II (500—1000)	535	455—610	595	515—670
III (250—500)	495	400—590	555	460—660
IV (100—250)	425	325—525	485	385—585
V (50—100)	345	240—450	405	300—510

ров транспортного тяготения таким образом, чтобы при равных условиях затраты времени в передвижениях сохранялись в приемлемом диапазоне*. Предельные границы этого диапазона непосредственно связаны с физиологическим циклом суточного распределения элементов затрат времени на сон, еду, работу, отдых и меняются с их перераспределением. Имея определенные ограничения распределения суточного времени, человек стремится подыскать такое место жительства или работы, которое наилучшим образом устраивало бы его по заработку, характеру работы, месту проживания и затратам времени на передвижения по разным целям.

Пространственная самоорганизация городского населения характеризуется двумя константами: мало меняющимися в историческом времени среднесуточными затратами времени на передвижения T_d «среднего» городского жителя и средними затратами времени t_d на одно передвижение. Первая из них T_d — константа статистической пространственной самоорганизации населения по суточным затратам времени на передвижения, вторая t_d — константа статистической пространственной самоорганизации населения по затратам времени на одно передвижение. Обе константы имеют статистическую природу и представляют собой математические ожидания соответствующих величин.

Константу T_d определяют биологическая потребность в передвижениях и связанные с социологическими условиями потребности общения в производственной, культурно-бытовой и других сферах жизнедеятельности. По данным исследований константа $T_d \approx 75$ мин (математическое ожидание среднесуточных затрат времени на передвижения) с разбросом от 50 до 90 мин [22]. Константа t_d зависит от группы города по населенности, уровня его транспортного обслуживания и предоставляемых населению возможностей выбора мест проживания относительно интересующих его центров трудового и нетрудового тяготения. Статистическая самоорганизация населения по затратам

* Понятие пространственной самоорганизации городского населения и ее закономерности сформулированы Г. А. Гольцем.

времени в передвижениях проявляет себя наиболее полно в крупнейших городах, где имеются широкие возможности выбора мест работы и обмена жилплощади. Зависимость константы статистической самоорганизации t_d от населенности городов N показана на рис. 10.7 [4]. Наименьший разброс константы t_d характерен для малых городов и городов-миллионеров. В первом случае он объясняется небольшими территориальными размерами городов, во втором — характерными для больших городов широкими возможностями выбора мест труда, обмена жилплощади и сравнительно равномерным распределением в них центров тяготения всех типов. Наибольший разброс константы t_d наблюдается в городах с населенностью 400—600 тыс. человек. Это объясняется неравномерностью развития таких городов во времени, максимальной интенсивностью роста, крупными изменениями в планировочной структуре. Развитие транспорта в них обычно не успевает за ростом жилищного строительства, а процесс самоорганизации населения запаздывает, в результате чего затраты времени на передвижения растут. Интересной закономерностью, вытекающей из данных, представленных на рис. 10.7, является стабилизация константы t_d в городах с населенностью более 1 млн. человек на постоянном уровне порядка 35 мин. Большое влияние на константу t_d оказывает в настоящее время автомобилизация, способствующая ее уменьшению с соответствующим ростом подвижности населения.

Пространственную самоорганизацию населения определяют в основном трудовые связи. Поэтому закономерности пространственной самоорганизации городского населения рассматривают как законы его трудового расселения.

С константами T_d и t_d связаны закономерности пространственного развития городов и распределение в них пассажирских связей, находящие выражение в зависимости закономерностей расселения городского населения относительно центров транспортного тяготения от уровня его транспортного обслуживания. Это проявляется в том, что развитие транспорта позволяет размещать жилые массивы вдали от мест приложения труда, а размещение объектов транспортного тяготения за пределами зоны пешеходной доступности стимулирует развитие

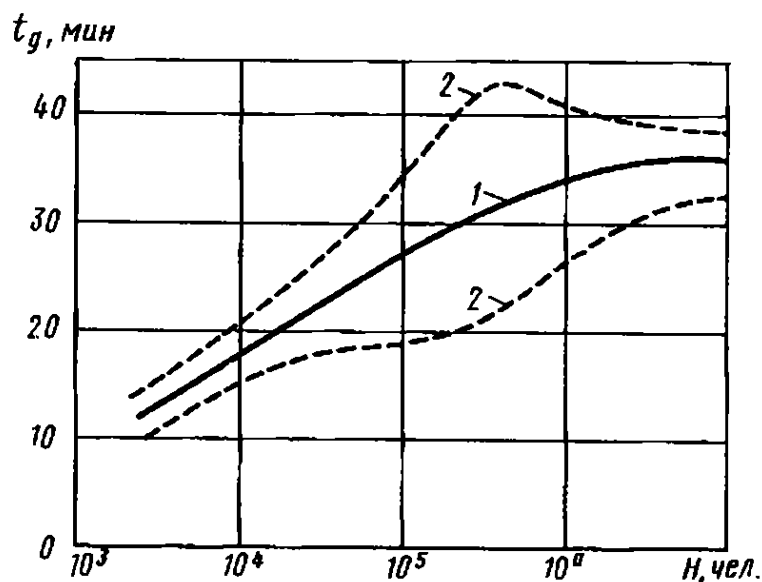


Рис. 10.7

Зависимость константы статистической пространственной самоорганизации городского населения по средним затратам времени в трудовом передвижении от населенности города:

1 — аппроксимирующая кривая; 2 — границы зоны разброса

транспорта. В конкретных условиях места и времени может преобладать та или другая тенденция, но затем между развитием транспорта и размещением жилых и промышленных районов устанавливается динамическое равновесие, определяемое константой пространственной самоорганизации населения. В итоге меняются траектории трудовых передвижений населения, но общее состояние всех трудовых связей, характеризуемое этим статистическим параметром, остается неизменным.

Соотношение констант T_d и t_d статистической пространственной самоорганизации городского населения по затратам времени на передвижения определяет реализуемую среднесуточную подвижность населения p_c , которую можно найти из выражения: $T_d = p_c t_d$, откуда

$$p_c = T_d / t_d. \quad (10.26)$$

В соответствии с (10.26) при той же величине константы T_d в районах с повышенной трудностью сообщения растут затраты времени на одно передвижение t_d и за счет этого уменьшается среднесуточная подвижность p_c , а в районах с удобными транспортными связями за счет уменьшения t_d подвижность p_c увеличивается. Таким образом (10.26) определяет основные статистические характеристики передвижений и их связь с транспортной системой города.

Константа T_d определяет пространственно-планировочные характеристики городов. Действительно, средняя длина трудовых связей (средний радиус расселения)

$$R_p = v_{c.пр} t_d, \quad (10.27)$$

где $v_{c.пр}$ — приведенная скорость сообщения в трудовых передвижениях населения с учетом затрат времени на пешеходные передвижения к остановкам ГПТ, ожидание транспорта и транспортные передвижения, включая пересадки.

Известно, что средний радиус расселения R_p связан с максимальным $R_{p.макс}$ соотношением $R_{p.макс} = k_p R_p$, где $k_p \approx 3$. Учитывая, что в моноцентрических городах в первом приближении $R_{p.макс} = R_r$ (радиус города), получим:

$$R_r = R_{p.макс} = k_p R_p = k_p v_{c.пр} t_d = k_p v_{c.пр} T_d / p_c. \quad (10.28)$$

Выражение (10.28) устанавливает вытекающую из явления пространственной самоорганизации городского населения зависимость между пространственными размерами города, протяженностью трудовых связей и развитием городской транспортной системы. Трудовые связи характеризуются здесь сравнительно устойчивой величиной средних затрат времени на одно передвижение t_d , которая, однако, благодаря ускоренному росту городов и запаздыванию развития их транспортных систем в течение последнего столетия постепенно растет (в конце XIX в. составляла в среднем около 25—30 мин, в начале XX в. примерно до 30-х годов — 30—35 мин, во второй половине XX в. — 35—40 мин).

Такого же характера закономерности пространственной самоорганизации городского населения наблюдаются и по отношению к пере-

движениям по культурно-бытовым целям. Различны только соответствующие им константы пространственной самоорганизации t_d , хотя величины последних в связи с большим разнообразием объектов культурно-бытового назначения в настоящее время еще не определены.

§ 10.4. Понятия расселения и тяготения

Под *расселением* обычно понимают (в экономической географии) распределение населения в пределах некоторой территории: страны, региона, города, района и т. д. Его характеризуют общим количеством населения H_F (или какой-либо определенной социальной группы населения), проживающего в пределах некоторой площади F , или плотностью населения $h_F = dH_F / dF$ (см. рис. 1.4). В отличие от этого в теории городских пассажирских перевозок закономерности расселения населения определяют через реализуемые им передвижения. В связи с

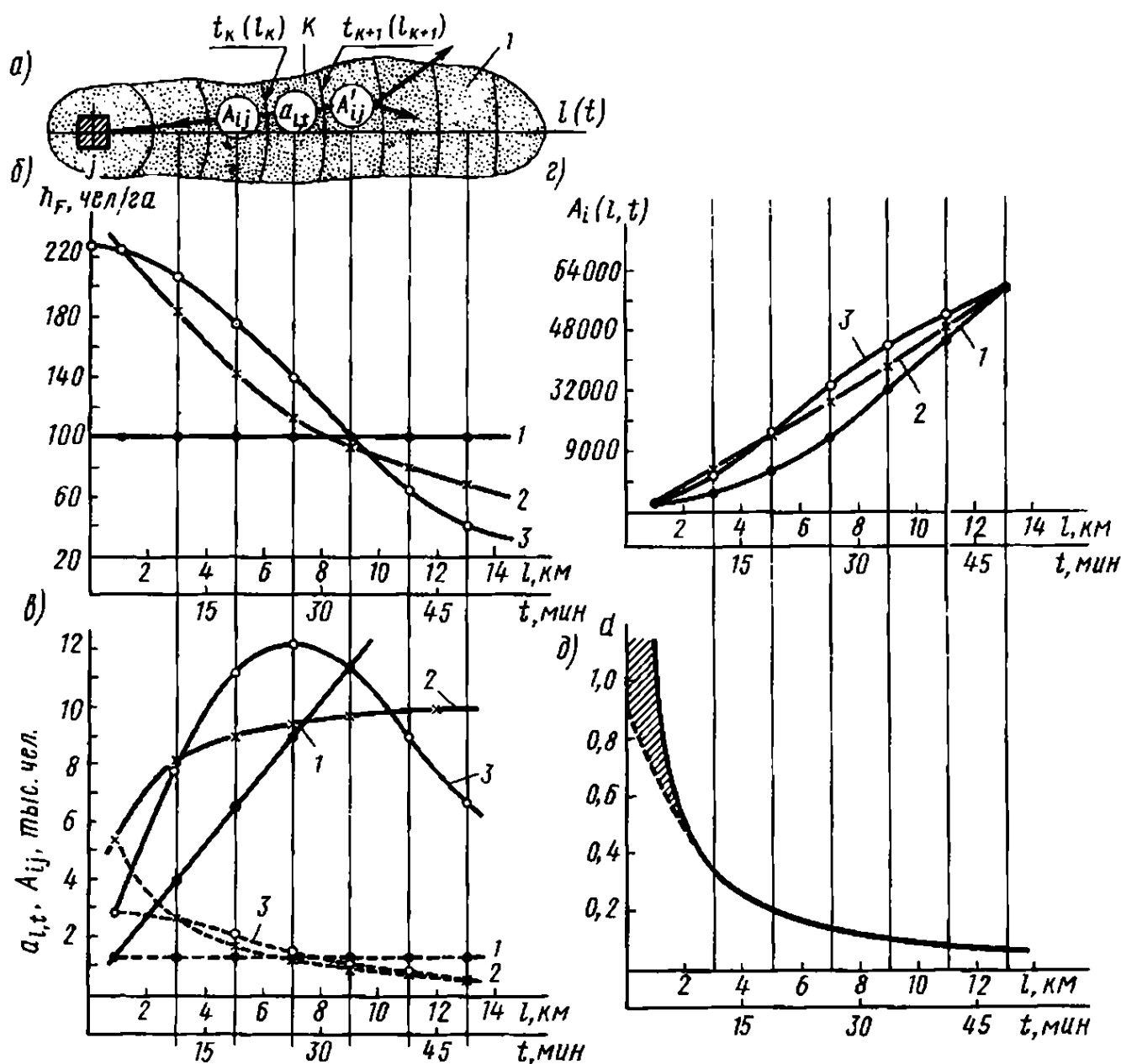


Рис. 10.8

Кривые расселения и тяготения

этим рассматривают расселение не всего, а только деятельного (транспортно активного) населения, нагружающего пешеходные и транспортные городские пути сообщения (ГПС) и центры транспортного тяготения (промышленные предприятия, торговые центры, зрелищные учреждения, предприятия бытового обслуживания и т. д.). Применительно к задачам анализа расселение рассматривают по дальности передвижения l или по затратам времени на передвижение t относительно тех или других центров транспортного тяготения.

Пусть в селитебной зоне i (рис. 10.8, а) общее количество зарождающихся передвижений населения рассматриваемой группы равно A_i . Эту величину называют *селитебной емкостью зоны i по отправлениям*. Аналогично количество передвижений, заканчивающихся в зоне j (ею может быть какой-либо центр тяготения или зона, в частности и зона i), называют ее *емкостью по прибытиям*.

Примем за центр построения некоторый центр тяготения j , находящийся в зоне i , и построим относительно него изохроны t (геометрические места точек, равноудаленных относительно центра построения j по затратам времени на передвижения) или изодистанты l (геометрические места точек, равноудаленных относительно центра построения j по расстоянию передвижений). Пусть внутри зоны с центром j , ограниченной некоторой изохроной t_k или изодистантой l_k , количество зарождающихся передвижений рассматриваемой группы равно $A_i(l, t)$, а внутри элементарной территориальной единицы площадью dF , ограниченной изохронами t_k и t_{k+1} или изодистантами l_k и l_{k+1} , — соответственно $a_{i,t}$. Отношение

$$d_F = a_{i,t} / dF \quad (10.29)$$

называют *плотностью транспортных связей (отправлений)* или *плотностью расселения*, зависимость $a_{i,t}(l, t)$ — *дифференциальным законом расселения*, зависимость $A_i(l, t)$ — *интегральным законом (кумулятой) расселения*. Между $A_i(l, t)$ и $a_{i,t}$ имеется очевидное соотношение

$$A_i(l, t) = \sum_0^{l,t} a_{i,t} \cdot \quad (10.30)$$

В качестве примера на рис. 10.8, б приведены три из множества возможных зависимостей плотности расселения d_F от дальности или затрат времени на передвижения: постоянная по всем зонам, гиперболическая и экспоненциальная (кривые 1, 2 и 3). С использованием этих зависимостей и соотношения $a_{i,t} = d_F dF$, вытекающего из (10.29), на рис. 10.8, в построены соответствующие им дифференциальные кривые расселения (показаны сплошными линиями), а на рис. 10.8, г — их кумуляты.

Передвижения $a_{i,t}$, зарождающиеся в элементарной селитебной зоне, ограниченной изодистантами l_k и l_{k+1} или изохронами t_k и t_{k+1} , частью заканчиваются в центре j (тяготуют к центру j) и частью в других центрах тяготения, расположенных в зоне i и вне ее (рис. 10.8, а). В сумме все они равны $a_{i,t}$:

$$a_{i,t} = A_{ij} + A'_{ij}, \quad (10.31)$$

где A_{ij} — часть передвижений a_{ij} , заканчивающихся в центре тяготения j ; A'_{ij} — передвижения, заканчивающиеся в других центрах тяготения.

Зависимости $A_{ij}(l, t)$ называют *закономерностью тяготения*. Она определяет тяготение населения A_i селитебной зоны i к центру j , его привлекательность по сравнению с другими центрами тяготения, расположенными в зоне i или вне ее. Характер этой зависимости (она показана пунктирными линиями на рис. 10.8, в) определяет ряд факторов: затраты времени на передвижения к центру j , уровень транспортного комфорта в передвижениях, стоимость проезда, уровень предпочтительности центра тяготения j по сравнению с другими центрами того же типа, расположенными в зоне i и вне ее, и др.

Вероятность выбора населением, реализующим передвижения A_i , целью передвижения центра j называют *функцией тяготения*. Ее определяют как количество передвижений A_{ij} из селитебной зоны i в центр j , отнесенных к селитебной емкости A_i зоны i к емкости зоны j по прибытиям:

$$d_{ij} = A_{ij}/(A_i A_j). \quad (10.32)$$

Ординаты функции тяготения $d_{ij}(l, t)$ получают делением соответствующих ординат зависимостей $A_{ij}(l, t)$ и $A_i(l, t)$. Функция тяготения (рис. 10.8, д) имеет падающий характер и отражает тенденцию населения расселяться вблизи интересующих его центров тяготения. Кривые расселения и тяготения (рис. 10.8, в, г) построены с использованием функции тяготения (рис. 10.8, д).

Транспортно-социологические обследования расселения деятельного населения относительно объектов приложения труда и культурно-бытового тяготения для построения зависимостей $A_i(l, t)$ и $A_{ij}(l, t)$ проводят анкетными методами по местам работы и жительства и списочным методом (выборкой по местам работы бесфамильного списка адресов мест жительства трудящихся). Анкетные методы используют и для обследований передвижений населения по различным целям. Соответствующий им вид функций тяготения $d_{ij}(l, t)$ находят, используя уравнение (10.32).

Следует заметить, что при построении функции тяготения $d_{ij}(l, t)$ по данным обследований наибольшие трудности вызывает определение их в области малых значений l и t в виду трудности учета передвижений населения на малые расстояния. Поэтому вид их в этой области, показанной на рисунке некоторой заштрихованной областью разброса, нельзя считать твердо установленным.

§ 10.5. Закономерности расселения по затратам времени на передвижения

В предыдущем параграфе было показано, что закономерности расселения и тяготения различны, но определяют друг друга, так как связаны между собой функцией тяготения и выступают как законы транспортного тяготения между соответствующими городскими объектами по затратам времени на передвижения населения. Поэтому изучение закономерностей расселения — одна из главных задач теории ГПП.

Законы расселения являются следствием действия закона пространственной самоорганизации населения по затратам времени на передвижения и проявляют себя в пределах накладываемых им ограничений. Характер расселения городского населения определяет ряд социальных, географических (климатических и топографических), планировочно-градостроительных и других факторов, удельное влияние которых на расселение непрерывно меняется. В XIX в. и в начале XX в. наблюдалась резкая концентрация городского населения, одной из причин которой было отсутствие скоростных средств транспортного передвижения. В настоящее время, особенно в городах Запада, в связи с высоким уровнем автомобилизации наблюдается тенденция к расселению жителей по пригородам, снижения концентрации его в деловых и промышленных центрах, биосфера которых перегружена токсическими выделениями промышленных предприятий и автотранспорта, пылью, шумом и др.

Решающее влияние на самоорганизацию городского населения по затратам времени на передвижения оказывает трудовая деятельность. Поэтому определяющим фактором в его расселении выступают трудовые связи, и закономерности расселения действуют как законы трудового расселения. Иначе говоря, управляет расселением в основном стремление трудящихся разместиться по возможности ближе к местам работы, хотя немалое влияние на выбор мест жительства оказывает также расположение их относительно культурно-бытовых центров, мест отдыха, торговых центров и др. В соответствии с законом пространственной самоорганизации расселение формируется так, чтобы обеспечивалась соответствующая заданным условиям константа пространственной самоорганизации (средняя трудность сообщения t_{cp} соответствовала константе t_n и суточной подвижности p_c).

Закономерности расселения устанавливают методами теоретических расчетов на основе тех или других математических моделей, имитирующих вероятностное поведение населения при выборе мест жительства и работы, и натурными обследованиями. Последние позволяют получать эмпирические закономерности расселения и оценивать степень соответствия теоретических моделей фактическому расселению.

Как математические зависимости, дифференциальные и интегральные закономерности расселения равноценны, так как изображают одно и то же явление. Однако более наглядны и поэтому чаще используются дифференциальные кривые плотности расселения, а при натурных обследованиях расселения более точные результаты дают исследования интегральных закономерностей с последующим получением дифференциальных методами математической обработки. Это связано с тем, что величины $A_i(l, t)$ можно получать в обследованиях с более высокой точностью, чем величины $a_{i,t}$.

Функции расселения изучаются по категориям передвижений (трудовых, культурно-бытовых) и различны в разных градостроительно-транспортных условиях. Наиболее детерминированные из них — функции трудового расселения населения относительно мест приложения труда, которые имеют наиболее важное значение в жизни общества, определяют загрузку транспортной сети и отличаются сравнительным постоянством, поэтому их настойчиво изучают.

Поскольку $a_{i,t} = d_F dF$, где d_i — плотность распределения передвижений населения и $A_i(l, t) = \int' a_{i,t} dt = \int' d_F dF$, то закономерности расселения $a_{i,t}(l, t)$ и $A_i(l, t)$ часто рассматривают в виде зависимостей $d_F(l, t)$. Следует отметить, что по отношению к центру города они всегда имеют падающий характер, сходный с функцией тяготения $d_{ij}(l, t)$. Поэтому иногда их пугают, хотя они принципиально различны по смысловому содержанию.

Разными авторами предложен ряд эмпирических и теоретических зависимостей $d_F(l, t)$. В частности, *Г. В. Шелейховским* с использованием математической модели психофизиологического закона Вебера — Фехнера теоретически получен логарифмический закон расселения по затратам времени на передвижения:

$$d_F = (1/T_{\max}) \ln(T_{\max}/t), \quad (10.33)$$

где $T_{\max}$ — заданная предельная трудность сообщения для рассматриваемого центра тяготения; t — трудность сообщения i -й зоны с этим центром.

Модель (10.33) относится к числу вероятностных. Тем самым она учитывает наиболее фундаментальную особенность формирования поведения населения при выборе мест жительства относительно мест приложения труда и других центров тяготения — многофакторность причин, определяющих расселение. В то же время, расселение рассматривается в ней как функция только одной переменной — трудности сообщения, что не отвечает сложности исследуемого явления. Поэтому (10.33) не дает достаточно точного совпадения с данными фактических обследований. Фактические кривые расселения обычно более пологие, благодаря чему использование (10.33) приводит к получению преуменьшенных объемов транспортной работы по сравнению с наблюдаемыми фактически.

Следует также отметить, что принципиально неверно ограничение расселения пределом $T_{\max}$. Практически такого предела не существует, поскольку городская зона без всяких ограничений (кроме административного) переходит в пригородную и нередко случаи, когда трудящиеся и другое население пригородов в маятниковых миграциях пригород — город тратят на передвижения время, значительно превышающее всякое «предельное». Просто относительный вес этих передвижений с увеличением t быстро уменьшается.

Ряд авторов уточняют модель *Г. В. Шелейховского*. Так, *А. И. Ванке* предлагает [22]

$$d_F = \frac{1}{1 - t_n/T_{\max}} \cdot \frac{1}{T_{\max}} \ln \frac{T_{\max}}{t}, \quad (10.33a)$$

где $t_n = 15$ мин — «пороговое время» [см. (10.19)], до которого все передвижения осуществляются пешком (при $t < t_n$ принимается равным t_n).

А. Г. Дынкин и *Э. Г. Мовчан* [22] модифицировали модель *Г. В. Шелейховского* с учетом различного трудового тяготения к местам работы отдельных членов семей:

$$d_{t,k} = A \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} \varphi_k(l) \frac{t - 0,5 l \cdot \cos \alpha_j}{\sqrt{t^2 + 0,25 l_i^2 - t l_i \cos \alpha_j}} \times \\ \times \ln \alpha / \sqrt{t^2 + 0,25 l_i^2 - t l_i \cos \alpha_j}, \quad (10.336)$$

где $d_{t,k}$ — плотность вероятности трудового расселения на удалении t от мест приложения труда трудящихся, входящих в семьи, относящиеся к категории k ($k = 1, 2, 3, \dots$); A — нормировочный коэффициент; l — расстояние между местами приложения труда работающих членов семьи [при $l = 0$ выражение (10.336) приводится к виду (10.33)]; $\varphi_k(l)$ — плотность распределения величины l ; α — угол между направлениями, связывающими место приложения труда одного из работающих членов семьи с общим центром тяготения всех работающих членов семьи; $i = 1, 2, \dots, m$ — места жительства; $j = 1, 2, \dots, n$ — места работы. По сравнению с (10.33) функция (10.336) более пологая, что характеризует «оглягивающее влияние» демографических факторов на расселение трудящихся.

Учитывая многофакторный характер формирования связей городского населения с центрами тяготения и принципиальную необходимость исследования их статистическими методами, Г. А. Голыц предложил нормально-вероятностную функцию расселения и подтвердил натурными обследованиями ее хорошую сходимость с фактическим расселением [24]:

$$d_F = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-t^2/(2\sigma^2)}, \quad (10.34)$$

где параметр σ закона распределения определяется в функции принятой предельной трудности сообщения $T_{\max}$ по «правилу трех сигм»:

$$\sigma = T_{\max}/3. \quad (10.34a)$$

Большое распространение получила также экспоненциальная модель расселения, которая может быть обоснована теоретически по критерию максимизации энтропии моделируемой городской системы [13] и вероятностного поведения ее жителей при выборе расположения мест жительства относительно центров трудового и нетрудового тяготения (модель «столкновения возможностей») и др. [33]:

$$d_F = a e^{-bt}, \quad (10.35)$$

где a — поверхностная плотность населения в центре тяготения [при $t = 0$ из (10.35) получаем $d_F = a$]; b — степень экспоненциального уменьшения плотности расселения с увеличением трудности сообщения с центром построения.

Следует, однако, отметить, что математических моделей, удовлетворительно вскрывающих глубинные причины и тенденции расселения городского населения, в настоящее время еще не создано. С одной стороны, это связано с большим разнообразием факторов, определяющих расселение, а с другой — вычислительной трудностью их учета. В по-

следние годы в связи с широким внедрением в практику научных и проектных исследований быстродействующих ЭВМ, значительно расширивших возможности и облегчивших проведение сложных расчетов, разработки моделей расселения заметно активизировались и продвинулись вперед. Большое внимание уделяют в последнее время разработкам динамических имитационных моделей расселения, которые базируются на методах дискретно-вероятностного моделирования поведения участвующих в расселении людей в пределах ограничений, накладываемых закономерностями самоорганизации по затратам времени на передвижения с учетом социологических, градостроительно-планировочных и других изменений городской среды. Отдельными исследователями предложены математические комбинаторные модели процесса расселения: регрессионная, экстремальные модели «оптимального расселения» и ряд других, имеющих большое будущее, хотя разработка их еще не доведена до практического внедрения в проектную практику. Наиболее перспективными считают модели расселения социологического типа, так как расселение определяют в основном социальные факторы, взаимодействия людей и коллективов в процессе общественного производства и жизнедеятельности. Биопсихические факторы (ограниченность суточного бюджета времени населения, утомляемость и т. д.) выступают в реальном расселении лишь как факторы, ограничивающие его расширение. Как правило, в этих моделях используют вероятностный математический аппарат, так как законы расселения являются статистическими по своей природе и проявляют себя как законы больших чисел, хотя и формируются поведением отдельных людей.

В качестве примера социологических моделей расселения рассмотрим вероятностную динамическую имитационную модель Л. Э. Ванд [22]. Исходными данными в ней являются: вариант генерального плана города с размещением существующих и предполагаемых к строительству в разные сроки мест приложения труда и численности работающих в них, размещение и емкость существующих (с учетом предполагаемой реконструкции) и предполагаемых к строительству новых жилых районов с планируемыми сроками ввода новых объектов; система городского транспорта и план ее развития (пробный вариант); существующее расселение (по данным выборочного обследования или проектному решению). Задача заключается в том, чтобы предсказать расселение для любого момента времени в пределах сроков, установленных генеральным планом (через год, пять, десять лет).

Примем гипотезу, что расселение трудящихся определяет в основном стремление такого трудоустройства, которое удовлетворяет каждого из них по содержанию выполняемой работы (должности), заработку и времени передвижения от места проживания. Если эти характеристики имеют соответственно k_1 , k_2 и k_3 вариантов, то общее количество возможных трудовых связей на каждого трудящегося будет равно произведению $k_1 k_2 k_3$. По признаку выгодности возможных сочетаний признаков, определяющих трудовые связи, трудящихся можно расположить в «ряд предпочтительности трудоустройства». Для отдельных трудящихся в зависимости от профессии, специальности и других признаков ряды предпочтительности будут разными, но в результате статистического анализа можно выявить группы близких рядов предпочтительности трудоустройства.

После этой предварительной работы для каждого трудящегося может быть определен район проживания, ряд предпочтительности трудоустройства и место, занимаемое им в этом ряду. Необходимые для этого данные получают по материалам направленных анкетных социологических обследований трудящихся по местам работы, в процессе которых каждый опрашиваемый указывает в анкете предпочтительную характеристику своей трудовой связи в соответствующем ему ряду. Все возможные трудовые связи выше указанной будут для него более предпочтительными и при наличии вакансий он постарается занять лучшее место. Уровень неудовлетворенности трудовой связью конкретного трудящегося можно количественно измерить характеристикой

$$\theta_l = 1 - l/L,$$

(10.36)

где L — общее число членов ряда предпочтительности трудоустройства; l — номер места трудовой связи, занимаемой трудящимся в этом ряду (если считать от худших к лучшим).

Если человек занимает высшее место в ряду предпочтительности, то $l = L$ и $\theta_l = 0$, если низшее, то $l = 0$ и $\theta_l = 1$. Таким образом, уровень неудовлетворенности трудовой связью изменяется в пределах $0 \leq \theta_l \leq 1$. Методами статистических анкетных обследований можно получить статистические оценки трудовых связей трудящихся по каждому району приложения труда, проживания и группе рядов трудовых связей, т. е. числа H_{kijl} (здесь H — количество трудящихся, относящихся к k ряду предпочтительности трудовых связей, i району приложения труда, j району проживания и l номеру места трудовой связи в ряду предпочтительности трудоустройства).

Динамику (т. е. скорость трудоустройства во времени или функцию интенсивности трудоустройства) можно установить статистически, фиксируя в различные интервалы времени в течение нескольких лет число устроившихся на работу n_k по каждой группе k трудящихся, общий уровень D неудовлетворенности трудоустройством в городе и количество приемлемых вакансий v за тот же период.

В результате изучения данных генерального плана и статистических обследований можно получить как исходные данные:

k — ряды предпочтительности трудоустройства;

$H_{kijl}(0)$ — матрицу начального (на момент времени $t = 0$) распределения трудящихся города по k рядам предпочтительности трудоустройства, i районам трудоустройства, j районам жительства, занимающих l место в ряду предпочтительности трудоустройства;

$\Delta(t)$ — функцию естественного роста трудящегося населения города;

$\delta(t)$ — функцию роста трудящегося населения города за счет ожидаемой миграции;

$h_{kir}(t)$ — функцию изменения количества вакансий по k группе с r характеристикой должности и заработка в i районе из-за планируемого расширения или свертывания предприятий;

$F_j(t)$ — функцию количества благоустроенной жилой площади, планируемой к вводу в j районе;

$S_j(t)$ — функцию количественного изменения неблагоустроенной жилой площади в j районе;

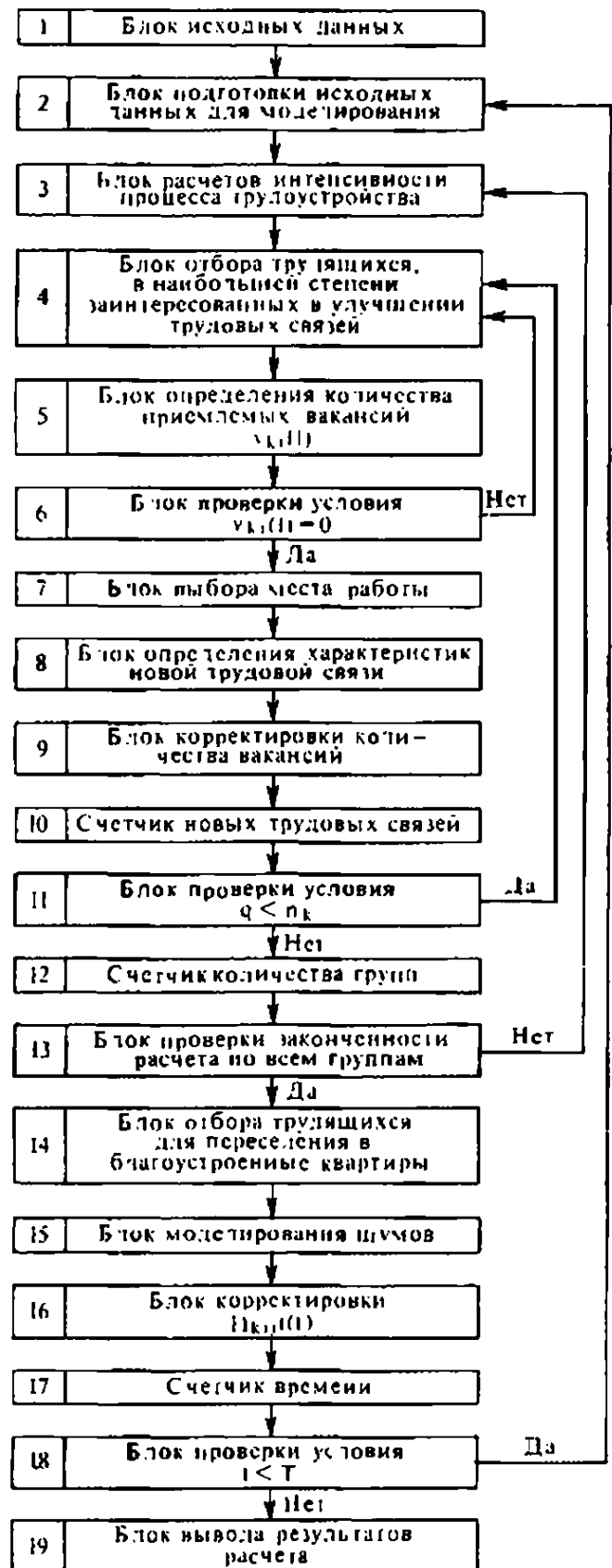


Рис. 10.9

Укрупненный алгоритм динамической социологической модели расчета расселения-тяготения по Л. Э. Ванд

$\tau_{ij}(t)$ — ожидаемую функцию изменения времени передвижения из i района в j ;

$\pi_{kijl}(t)$ и $\pi_{kir}(t)$ — функции естественной убыли трудящихся города, принадлежащих к k ряду предпочтительности трудоустройства, работающих в районе i , проживающих в районе j , занимающих l место в ряду трудоустройства с r характеристикой должности и заработка;

$\omega_{kijl}(t)$ и $\omega_{kir}(t)$ — функции убыли трудящихся в результате ожидаемого переезда в другие населенные пункты.

В соответствии с алгоритмом расчета (рис. 10.9) эти исходные данные вводятся в блок 1 ЭВМ. Подготовка исходных данных в блоке 2 состоит в определении функций $\pi_{kijl}(t)$, $\pi_{kir}(t)$, $\omega_{kijl}(t)$ и $\omega_{kir}(t)$; вычислении по интервалам времени количества трудящихся

$$H_{kijl}(t) = H_{kijl}(t-1) - \pi_{kijl}(t) - \omega_{kijl}(t); \quad (10.37)$$

для вновь устраивающихся на работу

$$H_{k0jl}(t) = \Delta_{k0jl}(t); \quad (10.37a)$$

для мигрантов

$$H_{k0jl}(t) = \delta_{k0jl}(t); \quad (10.37b)$$

вычислении по интервалам времени текущих значений количества вакансий по k группе с r характеристикой должности и заработка:

$$v_{kir}(t) = v_{kir}(t-1) \pm h_{kir}(t) + \pi_{kir}(t) + \omega_{kir}(t). \quad (10.38)$$

Интенсивность процесса трудоустройства, формируемая в блоке 3, измеряется случайной величиной n_k — количеством вновь устроившихся или сменивших работу трудящихся k группы за отрезок времени Δt .

Отбор трудящихся, наиболее заинтересованных в улучшении трудовых связей, осуществляемый в блоке 4, заключается в определении уровня неудовлетворенности трудоустройством по каждой k группе трудящихся, который пропорционален P_{ijl} — вероятности того, что искомый человек принадлежит к категории трудящихся, работающих в i районе, проживающих в j районе и занимающих l место в ряду предпочтительности:

$$P_{ijl} = (1 - l/L_k) H_{kijl}(t) / \sum_i \sum_j \sum_l H_{kijl}(t) \theta_l. \quad (10.39)$$

Искомые значения видексов i, j и l определяются в (10.39) методом статистического моделирования (Монте-Карло).

Количество приемлемых вакансий, формируемых для q трудящегося из общего количества n_k , определяется в блоке 5 извлечением из k ряда предпочтительности всех возможных трудовых связей, лежащих выше l места, и сравнением их с имеющимися на данный момент времени вакансиями $v_{kir}(t)$ по всем r в каждом районе. Количество приемлемых вакансий определяется величиной $v_{ki}(l)$ — числом вакансий по k группе i района, лежащих выше l места в ряду предпочтительности. При отсутствии приемлемых вакансий $v_{ki}(l) = 0$ по всем районам (эту проверку выполняет блок 6) возвращаются к блоку 4, где производится дополнительный розыгрыш для замены q человека.

В блоке 7 выбора места работы методом Монте-Карло вычисляется вероятность того, что q трудящийся устроится на работу в i районе:

$$P_i = v_{ki}(l) / \sum_l v_{ki}(l). \quad (10.40)$$

Блок 8 решает задачу определения характеристик новой трудовой связи q трудящегося. Если он проживает в районе j , а его новое место работы находится в районе i , то изменяется его транспортная характеристика — время проезда $\tau_{ij}(t)$. Функция вероятности занятия вакансии с r характеристикой должна быть введена в машину по данным социологических обследований. Если принять гипотезу равновероятности занятия трудящимся любой из приемлемых для него вакансий, то вероятность занятия вакансий с r характеристикой

$$P_r = v_{klr}(l)/v_{kl}(l), \quad (10.41)$$

где $\sum_r v_{klr}(l) = v_{kl}(l)$.

Характеристику должности и заработка трудящегося получаем методом Монте-Карло. По значениям $\tau_{ij}(t)$ и r определяется новое место трудящегося в ряду предпочтительности трудоустройства.

Блок 9 корректирует количество вакансий, необходимость которых возникает в связи с тем, что q трудящийся перешел на новую работу и его прежнее место работы оказалось свободным. Количество вакансий $v_{klr}(t)$ уменьшается на единицу, а к количеству соответствующих вакансий в том районе, где он работал раньше, прибавляется единица.

Блоки 10—13 подсчитывают количество трудоустроенных в каждой группе: блок 10 представляет собой счетчик новых трудовых связей; блок 11 проверяет условия $q < n_k$ и при наличии его передает управление блоку 4; блок 12 представляет собой счетчик количества групп; блок 13 проверяет законченность расчета по всем группам и, если расчет не закончен, передает управление на блок 3.

Блок 14 решает задачу отбора трудящихся для переселения в новые благоустроенные квартиры на основе двух гипотез: пропорциональности между вероятностью P_w переселения в w район и количеством свободной благоустроенной жилой площади в этом районе; пропорциональности между вероятностью P_j переселения из j района, величинами $s_j(t)$ и удельной нагрузкой на жилую площадь в этом районе. Для каждого трудящегося вероятности

$$P_w = F_w(t) / \sum_w F_w(t); \quad (10.42)$$

$$P_j = \frac{\sum_k \sum_l \sum_i H_{kijl}(t) / [s_j(t) + F_j(t)] s_j(t)}{\sum_j \{ \sum_k \sum_l \sum_i H_{kijl}(t) / [s_j(t) + F_j(t)] s_j(t) \}}. \quad (10.42a)$$

Районы w , куда переселяются трудящиеся, и районы j , из которых они переселяются, определяют методом Монте-Карло. Чтобы моделировать плановые переселения, нужно знать функцию распределения случайной величины $\alpha = \tau_{ij}/\tau_{iw}$, где τ_{ij} и τ_{iw} — время передвижения к месту работы i соответственно от прежнего j и нового w районов проживания (может быть получено обследованиями переселяемых трудящихся). Методом статистического моделирования определяют очередное значение α и для переселения отбирают трудящегося, у которого $\tau_{ij}(t) = \alpha \tau_{iw}(t)$. После этого корректируют величины P_w и P_j (с учетом переселения трудящегося и его семьи) и затем ту же процедуру повторяют до тех пор, пока не будет заселена вся свободная жилая площадь.

Кроме учитываемых моделью на расселение населения влияет целый ряд неучитываемых факторов, которых мы просто не знаем или не можем учесть и аналитически выразить в модели (например, переезды учреждений, непланируемые реорганизации и др.). Все они дают случайные отклонения расчетного расселения от фактического. Такие случайные отклонения называют шумом. Блок 15 моделирует шумы. Принимаемые для этого алгоритмы могут быть различными. Один из них состоит в получении характеристик процесса без шума и сравнении их с фактическими. Такое сравнение дает возможность подбирать шумы из условия минимизации разности между теоретическими и фактическими значениями характеристик. Другой заключается в случайном варьировании величин ΔH_{kijl} по некоторому закону (например, нормальному закону распределения), где ΔH_{kijl} — отклонение от $H_{kijl}(t)$.

Блок 16 осуществляет корректировку $H_{kijl}(t)$, т. е. пересчет трудящегося населения по результатам работы блоков 8, 14 и 15. Этот блок выдает прогнозируемое расселение, используемое затем для решения различных задач градостроительного проектирования, в том числе транспортных расчетов.

Блоки 17 и 18 контролируют работу модели во времени. Блок 17 представляет собой счетчик времени, блок 18 проверяет условие $t < T$ и при его наличии передает управление блоку 2. Когда моделируемый процесс достигает заданного момента $T = 1, 5, 10$ лет, счет прекращается и результаты расчета выдаются в блок вывода результатов 19. Величины $H_{kijl}(T)$ дают полную картину расселения в моделируемом городе на момент T . Могут быть выведены по районам суммарные уровни неудовлетворительности трудоустройства, количество вакансий и др. Модель позволяет прогнозировать изменения в расселе-

нии, получать прогнозируемые социально-экономические показатели городской жизни, выявлять необходимые меры воздействия на управляемые параметры планировки, застройки, транспортной системы, системы распределения жилой площади, структуры градообразующих кадров и др. Однако она громоздка и не имеет в настоящее время информационного обеспечения.

§ 10.6. Функция тяготения

Функция тяготения характеризует обобщенную оценку населением условий связи мест жительства с местами приложения труда и культурно-бытовыми центрами тяготения. В настоящее время ее рассматривают преимущественно как функцию затрат времени на передвижения по трудовым связям. В результате обследований расселения и передвижений населения в плане города с обработкой по (10.32) получен ряд функций тяготения, аппроксимированных гиперболическими, экспоненциальными и другими зависимостями. В частности, *А. А. Поляков* и *В. А. Черепанов* предложили гиперболическую функцию тяготения [1]:

$$d_{ij} = a/t_{ij}^k, \quad (10.43)$$

где a и k — эмпирические коэффициенты, устанавливаемые обследованиями («калибровкой» модели в натурных обследованиях расселения и передвижений населения по различным целям); t_{ij} — затраты времени на передвижение к рассматриваемому центру тяготения j .

Модификациями модели (10.43) являются гиперболическая функция тяготения, предложенная *С. Г. Писаревым*:

$$d_{ij} = 1/t_{ij}, \quad (10.43a)$$

и функция тяготения *А. М. Якишина* (квадратичная гипербола):

$$d_{ij} = 1/t_{ij}^2. \quad (10.43б)$$

Ряд авторов предлагают одно- и двухпараметрические экспоненциальные модели функции тяготения:

$$d_{ij} = ae^{-bt_{ij}}; \quad d_{ij} = ae^{-bt_{ij}^k}, \quad (10.43в)$$

где a , b и k — калибровочные коэффициенты.

Следует заметить, что функции тяготения по культурно-бытовым целям могут существенно отличаться от функции тяготения по трудовым. Как правило, они круче для повседневных культурно-бытовых передвижений, реализующихся в микрорайонах жительства, положе для культурно-бытовых передвижений периодического типа (внутрирайонных) и приближаются к равновероятному тяготению $d_{ij} = 1$ для культурно-бытовых передвижений эпизодического характера (городских).

Следует заметить, что разнообразие функций тяготения, предложенных разными авторами, определяется прежде всего различием характеристик обследованных ими городов, а также различием функции тяготения населения к разным центрам: местам работы, отдыха, культурно-просветительным учреждениям, зрелищным предприятиям и др. Оно доказывает неправомерность выражения функции тяготения одной «уни-

версальной» кривой не только для разных городов, но и разных районов одного города, отличающихся планировочно-градостроительной структурой, социальным и профессиональным составом населения, характеристиками транспортной системы и др. Однако «усреднение» функции тяготения на стадии проектирования генерального плана неизбежно вследствие неполноты необходимой информации для ее точного представления. В тех случаях, когда натурные обследования расселения с целью построения функции тяготения невозможны, возникает необходимость выбора «оптимальной» функции тяготения из всего многообразия предложенных. Поиск такой «оптимальной» функции тяготения на основе «калибровки» (подбора численных величин коэффициентов) одно- и двухпараметрических функций вида (10.43), (10.43б), (10.43в), выполненный Э. Г. Абрамовичем и В. В. Лившицем (ЦНИИП градостроительства, [24]) по материалам натурных обследований трудовых корреспонденций населения ряда городов (Семипалатинск, Чимкент, Джамбул, Ворошиловград, Киев и Гродно), показал следующее:

1. Коэффициент корреляции для всех рассмотренных функций $r \geq 0,8$, что подтверждает определяющее влияние на формирование трудового расселения фактора времени сообщения между местами жительства и приложения труда.

2. Относительная средняя квадратическая ошибка расчетов корреспонденций для всех функций расселения и разных городов $\sigma_d = 0,73 \div 1,96$, причем расчетные объемы передвижения отдельных транспортных районов отличались от фактических в 3—5 раз и более. Такая дисперсия отражает существенные различия характеристик и условий связи корреспондирующих районов и, следовательно, соответствующих им функций тяготения.

3. Функции тяготения одного и того же вида существенно различаются для разных городов (в результате калибровки получают различные величины параметров распределения). Главным фактором, определяющим эти различия, выступает динамика развития города: при быстром росте городов жители не успевают приспособиться к быстрым изменениям градостроительной ситуации и тяготение приобретает случайный характер, в той или другой степени приближающийся к равновероятному:

$$d_{ij} = 1. \quad (10.44)$$

4. Наименьшие средние квадратические отклонения и наибольшие коэффициенты корреляции между расчетными и фактическими корреспонденциями оказались у двухпараметрической функции тяготения

$$d_{ij} = ae^{-bt_{ij}^k}.$$

5. Средняя квадратическая ошибка (отклонение) расчетных матриц корреспонденций от фактических оказалась минимальной для экспоненциальной модели при $b = 0,097$ и для гиперболической при $k = 2,08$. При этом экспоненциальная функция оказалась более близкой к оптимальной, чем гиперболическая.

6. В условиях неполной информации, характерных для транспортных расчетов на стадии проектирования генерального плана, в качестве

«универсальной» можно использовать функцию тяготения *А. М. Якишина* (10.31). При $t_{ij} = 0$ по ней получаем $d_{ij} = \infty$ и при t_{ij} , близких к нулю, — большие значения d_{ij} . Поэтому в зоне затрат времени на передвижение $0 < t_{ij} < 10$ мин (в зоне пешеходной доступности, центра тяготения) принимают $d_{ij} = d_{10}$ — величине d_{ij} при $t_{ij} = 10$ мин, т. е. «срезают» ее восходящую ветвь.

Необходимо еще раз обратить внимание на различие функций расселения и тяготения. Расселение во всех случаях, даже при абсолютной свободе выбора населением мест жительства, выступает как равнодействующая целого ряда влияний, в частности: затрат времени на передвижения к совокупности имеющихся в городе различно расположенных центров тяготения, уровня комфортабельности транспортного обслуживания по комплексу характеризующих его показателей, учета влияния интересов членов семьи и др. Влияние фактора затрат времени на трудовые передвижения не превышает в этом комплексе 60—80% [11], [25]. Поэтому расселение имеет социологический характер и для его изучения используют социологические модели. Что же касается функции тяготения, то она отражает факт распределения передвижений по затратам времени. Есть основания считать ее значительно более глубокой фундаментальной закономерностью формирования связей, первичной по отношению к расселению, обобщенной количественной характеристикой самоорганизации городского населения по затратам времени на передвижения, формирующей расселение.

Г л а в а 11

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

§ 11.1. Принципы прогнозирования передвижений городского населения

Прогнозирование передвижений городского населения на перспективу связано с решением двух комплексов задач: 1) выявлением и изучением зависимостей между передвижениями городского населения и определяющими их социально-историческими факторами; 2) прогнозированием социально-исторических условий на рассматриваемую перспективу. Обе эти задачи отличаются большой сложностью.

Пассажироперевозки формируются по определенным статистическим законам и поэтому задача их прогнозирования должна базироваться на футуристических вероятностных расчетах, общая теория и методика которых — предмет изучения специальной науки — прогностики. Однако использование общих рекомендаций прогностики в футуристических расчетах городских пассажироперевозок затруднено тем, что статистические закономерности формирования пассажиропотоков чрезвычайно сложны и их математические выражения пока не найдены. Поэтому единой общепринятой методики прогнозирования в настоящее время не существует.

В зависимости от имеющихся данных прогнозы пассажироперевозок выполняют по двум схемам: 1) на основании закономерностей, установ-

ленных в натурных обследованиях передвижений населения; 2) на основании построения логических, соответствующих имеющимся условиям, теоретических моделей пассажироперевозок. В первом случае находят корреляционные соотношения между пассажироперевозками и определяющими их факторами, которые затем согласуют с прогнозами изменения этих факторов в рассматриваемой перспективе. Во втором случае полагают, что передвижения населения независимы от исторического времени и подчиняются схеме, заложенной в модели. Сравнивая эти направления, можно отметить, что натурные обследования передвижений населения требуют больших трудовых затрат, но зато дают наиболее достоверные сведения на момент их обследования. Для решения задач текущего планирования и регулирования пассажироперевозок они незаменимы, но для прогнозирования их развития, тем более долгосрочного, могут быть недостаточны, так как дают только фотографию существующего состояния. Вместе с тем систематические специальные натурные обследования вскрывают причинно-следственные связи пассажироперевозок с определяющими их факторами и ожидаемые направления развития в ближайшей перспективе.

Математические модели основаны на постулировании определенных зависимостей формирования передвижений от определяющих их факторов. В соответствии с возможностями, предоставляемыми схемой, они позволяют анализировать явление. Вместе с тем ограниченность моделирования пассажироперевозок связана с тем, что в моделях можно практически учесть весьма небольшое количество факторов, определяющих формирование передвижений. Поэтому построить единую модель формирования пассажироперевозок практически нельзя. Наконец, еще не создано пригодных для использования в практике градостроительного проектирования моделей, определяющих развитие пассажироперевозок в историческом времени.

Все модели прогнозирования пассажироперевозок основаны на учете двух групп переменных: тех, которые оказывают влияние на потенциальный рост объема пассажироперевозок в городах и тех, которые ограничивают его.

Переменными первой группы являются такие, как населенность города, плотность его застройки, степень автомобилизации, социальный состав и уровень благосостояния населения, переменными второй группы — затраты времени и дальность, стоимость поездок, степень телефонизации и другие факторы, определяющие «сэкономленное транспортное обслуживание». Расчетный объем пассажироперевозок определяют как равнодействующую всех этих влияний при наличии тесной корреляционной связи между характеристиками города и вероятностным поведением его жителей при выборе вида транспорта и принятии других транспортных решений.

Пассажироперевозки определяются не только характеристиками города, его населенностью, планировочными решениями и социально-экономическими факторами, но и транспортной ситуацией, транспортной обеспеченностью города, плотностью ТС, интенсивностью движения, маршрутной системой, видами предлагаемого транспорта. Поэтому пассажироперевозки рассчитывают под предварительно принятую транс-

портную сеть, которая на стадии расчета ожидаемых пассажироперевозок новых городов неизвестна. В обход этих трудностей вводят стадию предсетевых транспортных расчетов по «воздушным» расстояниям между центрами транспортного тяготения, позволяющую выявить основные направления последующего проектирования.

Пассажироперевозки рассчитывают методом попыток с предварительным эвристическим проектированием ТС, которую затем уточняют по мере выявления ожидаемых пассажиропотоков.

Принципиальная схема расчета ожидаемого объема пассажироперевозок (рис. 11.1) включает в себя шесть групп операций:

- 1) анализ исходных данных и расчет перспективных показателей, определяющих ожидаемый объем перевозок;
- 2) выбор математической модели расчета;
- 3) предварительное проектирование ТС и маршрутной системы*;
- 4) расчет пассажироперевозок для предварительного варианта ТС;
- 5) уточнения ТС и маршрутной системы по данным предварительного расчета;

6) расчет пассажироперевозок для уточненной ТС и маршрутной системы.

Исходные данные о населенности города, его пунктах транспортного тяготения, планировочных решениях, социально-экономические и другие необходимые для расчетов пассажироперевозок формируют в виде характеристик множества зон — транспортных районов, образующих в совокупности заданный город. Все эти данные анализируют и уточняют на расчетную перспективу с учетом общих прогнозов социального, экономического и технического развития страны, на которых базируются прогнозы транспортного обеспечения городов и выбор критериев оптимизации ТС и маршрутной системы, включая выбор перспективных видов ГМПТ.

Расчет перспективных показателей представляет собой первый, предсетевой этап транспортного расчета, когда ТС еще не определена. На нем важно установить потенциальную транспортную потребность, т. е. тот объем транспортного обслуживания, который определяется действительной транспортной потребностью населения, не ограниченной реальными возможностями транспортной системы. Если этот показатель найден, то в дальнейшем транспортном расчете он может служить объективным критерием оценки проектного варианта ТС и маршрутной системы: отношение проектного объема транспортного обслуживания, обеспечиваемого ТС, к его потенциальной потребности определяет

* Широко используемая в настоящее время в проектной практике методика транспортных расчетов городских путей сообщения ЦНИИП градостроительства рассчитана на выполнение в сетевой форме, т. е. без учета маршрутной организации движения [6]. Программное обеспечение расчета ГПС в маршрутной форме отличается повышенной сложностью и трудоемкостью [17]. Его рекомендуют для решения транспортно-планировочных задач исследовательского характера, проектирования ГПС на стадии комплексных транспортных схем, экономического обоснования транспортных систем крупных городов и решения различных задач организации и оптимизации движения в действующих ТС. Транспортные расчеты в сетевой форме выполняют на проектных стадиях ТЭО и генерального плана города.

уровень соответствия проектного транспортного решения потенциальному запросу на пассажироперевозки. Теоретические модели расчета потенциальной транспортной подвижности в настоящее время еще не разработаны. В первом приближении она может быть установлена по эмпирической зависимости подвижности населения от равновероятной временной удаленности объектов тяготения $t_{рв}$ экстраполяцией ее на момент, когда $t_{рв} = 0$ (см. рис. 10.1).

С учетом градостроительных и социально-экономических факторов выбирают и математическую модель расчета пассажироперевозок. Предварительно проектируют ТС и выбирают виды транспорта эвристическим методом с учетом расчетных перспективных показателей и выбранных критериев оптимизации. Этот этап является подготовительным для предварительного расчета объема пассажироперевозок между транспортными районами. Его выполняют на основе выбранной математической модели и заканчивают построением картограмм пассажиропотоков. Анализ полученных картограмм пассажиропотоков позволяет уточнить выбор видов транспорта, ТС и маршрутную систему, что является содержанием последнего этапа расчета. На всех этапах оценивают проектные планировочные решения и дают рекомендации по их

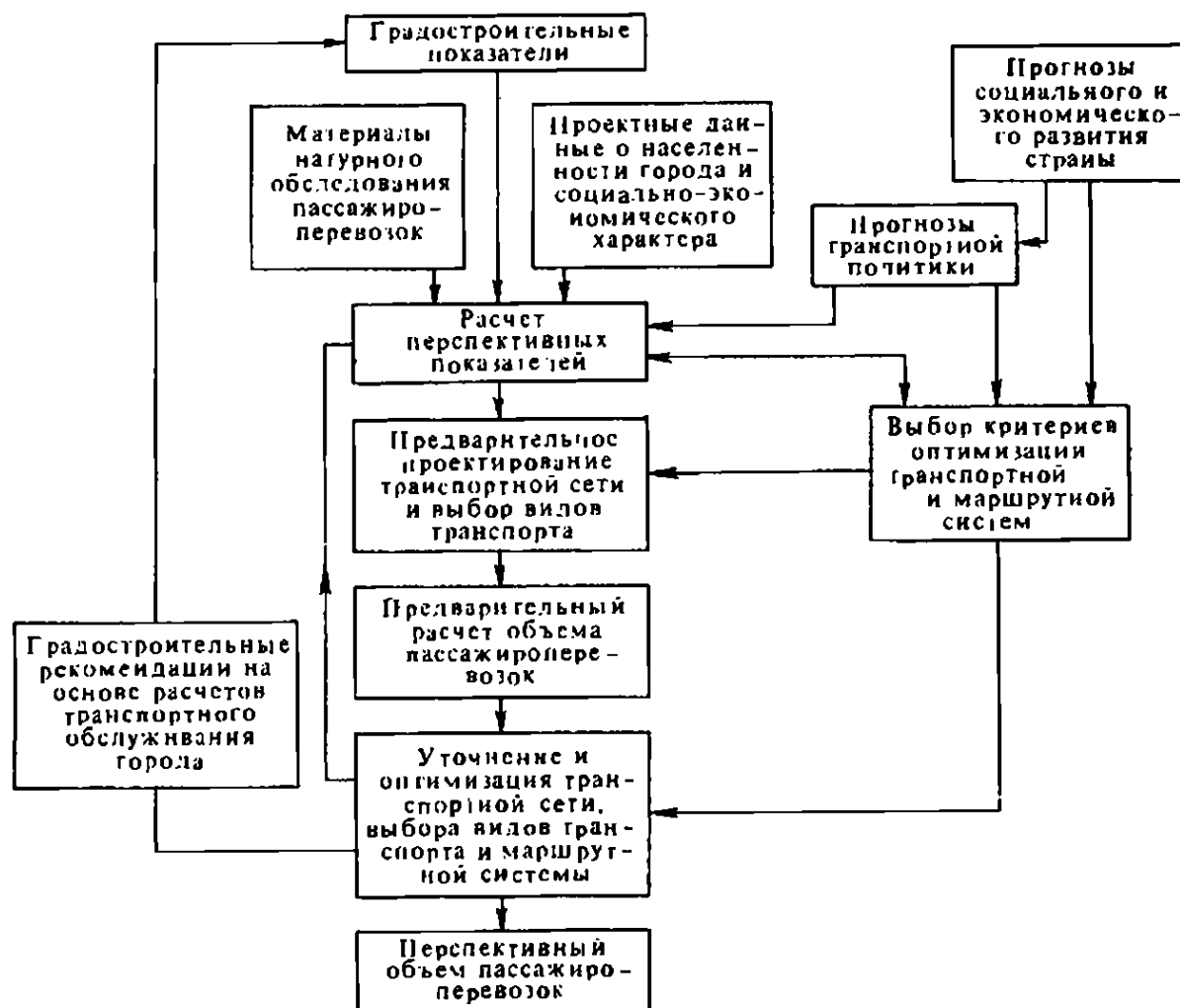


Рис. 11.1

Принципиальная схема расчета прогнозируемых пассажироперевозок

взаимной увязке с транспортными. Соответственно уточняют заданные проектные показатели и расчетные перспективные показатели, положенные в основу проекта.

Из схемы, показанной на рис. 11.1, видно, что расчет ожидаемых пассажироперевозок — составная часть общего проекта организации транспортного обслуживания и принципиально неотделим от него. Процесс проектирования транспорта и связанного с ним расчета ожидаемых пассажироперевозок представляет собой шаговый процесс с возвратом: каждая следующая ступень расчета связана с необходимостью корректировки и уточнения предыдущей.

Обоснованность решения задачи расчета перспективных пассажироперевозок тем выше, чем правильнее выбраны исходные данные, критерии оптимизации ТС и чем точнее увязана она с городом по всем показателям. Главное при этом — выбор размеров транспортных районов: чем они меньше, тем расчет точнее. Но с увеличением количества транспортных районов объем необходимых расчетов увеличивается пропорционально их квадрату. Поэтому достаточно точные расчеты транспортных систем и ожидаемых пассажироперевозок требуют использования современной быстродействующей вычислительной техники — ЭВМ.

Практикой расчетов установлено, что наиболее точным в перспективных расчетах получается прогноз суммарного объема пассажироперевозок, менее точным — распределение этого объема между отдельными видами транспорта, по целям корреспонденций и по транспортным районам. При общей погрешности расчета суммарного объема пассажироперевозок порядка 15—20% погрешность распределения пассажиропотоков по участкам ТС может достигать 100% и более. В определенной мере это указывает на принципиальные недостатки используемого математического обеспечения транспортных расчетов и необходимость пересмотра его фундаментальных основ.

Основное назначение программы градостроительно-транспортного проектирования — решение задач организации транспорта или крупных задач развития городских транспортных систем. Однако помимо расчетов транспортного обслуживания новых городов она может использоваться для решения различных задач оптимизации пассажироперевозок в действующих ТС: разработки оперативных мероприятий, направленных на корректировку существующей маршрутной системы разных видов транспорта; перераспределения подвижного состава по маршрутам; рекомендаций по развитию улично-дорожной сети города, внеуличных магистралей и автостоянок; размещения промышленных предприятий, жилых массивов и культурно-бытовых центров; оптимизации организации движения.

§ 11.2. Математические модели расчета передвижений населения в городах

В различных условиях, главным образом в зависимости от группы населенности города и объема имеющихся данных, для прогнозирования пассажироперевозок в настоящее время используют три группы математических моделей: детерминированные, рассматривающие пере-

движения в виде однозначной функции определяющих факторов (гравитационная, электростатической аналогии и др.); вероятностные, рассматривающие передвижения в виде стохастических (случайных) величин, подчиняющихся статистическим закономерностям (модели множественной корреляции, имитационные и др.), и эвристические, определяющие динамику роста объемов передвижений на основе эвристического прогнозирования (методы динамических рядов, коэффициентов роста). Имеется также ряд комбинированных моделей, характеризующихся признаками детерминированных и эвристических, вероятностных и эвристических и т. д.

В зависимости от методики получения исходных данных и применения выводов модели прогнозирования пассажироперевозок делят на два класса: аналоговых (экстраполяционных) и синтетических (имитационных). Аналоговые модели применяют для расчетов существующих транспортных систем с известными по данным натурных обследований тенденциями развития пассажироперевозок в историческом времени. Они не вскрывают причинной сущности образования пассажирских связей в городе, но исходят из предположения, что перспективная картина движения в нем будет аналогична существующей, но размеры движения изменятся в соответствии с некоторыми «факторами роста», «коэффициентами роста», величину которых устанавливают экстраполяцией на расчетный период данных натурных обследований. Примерами аналоговых моделей являются модели коэффициентов роста. Синтетические методы не требуют анализа существующего состояния пассажироперевозок, их применяют при проектировании транспортных систем новых городов. Особенность этих методов состоит в том, что они моделируют сам процесс формирования пассажирских связей в заданных планировочных и транспортных условиях.

Примерами могут служить методы электрической аналогии; регрессионный и метод возможностей. Некоторые модели прогнозирования, например гравитационную, используют и как аналоговые, и как синтетические, т. е. и для расчетов развития существующих транспортных систем, и при проектировании ТС новых городов.

В основе всех современных имитационных (синтетических) моделей прогнозирования пассажироперевозок лежит расчет корреспонденций между отдельными зонами i и j города — транспортными районами. В широко применяемой гравитационной модели количество корреспонденций между зонами i и j (из i в j)

$$A_{ij} = k A_i^\alpha A_j^\beta / R_{ij}^\gamma, \quad (11.1)$$

где k — масштабный коэффициент; A_i и A_j — емкости взаимодействующих транспортных районов (их общая населенность или количество населения соответствующих социальных групп — рабочих и служащих, учащихся, несамодеятельного населения); R_{ij} — «функция сопротивления» транспортной связи районов i и j (расстояние, трудность сообщения, стоимость проезда либо комбинация этих показателей. Обычно под функцией сопротивления понимают трудность сообщения между транспортными районами); α , β , γ — эмпирические коэффициенты, устанавливаемые на основе натурных транспортных обследований.

Обычно принимают $\alpha = \beta = 1$, $\gamma = 0,5 \div 3,5$. При $\alpha = \beta = 1$ и $\gamma = 2$ выражение (11.1) повторяет физический закон гравитационного взаимодействия: гравитационным массам соответствуют людские массы (население транспортных районов, находящееся в транспортном взаимодействии), а коэффициенту связи между ними (расстоянию гравитационного взаимодействия) — функция сопротивления R_{ij} .

Предложенная еще в прошлом веке по аналогии с гравитационным законом Ньютона, гравитационная модель формирования пассажирских связей оказалась близкой по физическому смыслу к реальной картине транспортного взаимодействия городских территорий и при правильном подборе эмпирических коэффициентов обеспечивает достаточную точность расчетов. Учитываемых факторов, определяющих образование пассажирских связей, в гравитационной модели всего два: емкости объектов и трудность сообщения или расстояние между ними*.

Гравитационная модель относится к классу детерминированных: при известных определяющих факторах она дает однозначные величины объемов пассажироперевозок A_{ij} , которые в принципе невозможны, так как представляют собой величины статистические, не определяемые однозначно. Они могут характеризоваться лишь математическим ожиданием и дисперсией (или эквивалентными им). С другой стороны, гравитационную модель считают вероятностной, так как «функция сопротивления» имитирует в ней наиболее вероятные распределения связей между транспортными районами.

В качестве примера детерминированных моделей пассажироперевозок рассмотрим электрическую аналоговую модель, которая легко может быть реализована на аналоговых вычислительных машинах. На рис. 11.2, а показана математическая модель транспортной задачи определения объема пассажироперевозок между пунктами отправления $ПО_1$ и $ПО_2$ и пунктами назначения $ПН_1$, $ПН_2$ и $ПН_3$, связанными между собой путями l_{ij} . Если пункты отправления и назначения моделировать источниками тока J , а транспортные пути — электрическими ветвями, состоящими из диодов L_{ij} и источников напряжения E_{ij} , то математическую модель можно заменить электрической схемой (рис. 11.2, б), токораспределение которой определяют с использованием уравнений Кирхгофа. Из электротехники известно, что токораспределение в электрических цепях устанавливается таким, чтобы рассеиваемая в них мощность была минимальной. Если принять, что диоды являются идеальными выпрямителями, т. е. потери мощности в них равны нулю, то мощность P , рассеиваемая в цепи, будет равна потерям мощности на источниках напряжения E_{ij} :

$$P = E_{11}J_{11} + E_{12}J_{12} + \dots = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n E_{ij} J_{ij} = \text{Мин.} \quad (11.2)$$

где суммирование распространяется по всем связям между m пунктами отправления и n пунктами назначения.

* Такое грубо приближенное описание явления явно противоречит его сложности. Тем не менее принцип гравитационного взаимодействия людских масс сыграл и играет до сих пор роль своеобразного полигона, на котором многими учеными испытываются различные идеи и методы расчета формирования пассажирских связей.

Если принять $E_{ij} = \gamma_1 t_{ij}$, $J_i = \gamma_2 A_i$, $J_j = \gamma_2 A_j$, $J_{ij} = \gamma_2 A_{ij}$, где t_{ij} — трудность сообщения или расстояние передвижения между пунктами i и j ; A_i — взаимодействующая с пунктами назначения j селитебная емкость пункта отправления i (по всем транспортным связям или связям определенной группы, например, трудовым связям рабочих и служащих, культурно-бытовым связям несамодеятельного населения и т.д.); A_j — взаимодействующая с пунктами отправления емкость пункта назначения j по тем же связям; A_{ij} — объем корреспонденций между пунктами i и j (из i в j); γ_1 и γ_2 — масштабные коэффициенты, то (11.2) примет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij} t_{ij} = P / (\gamma_1 \gamma_2). \quad (11.3)$$

Последнее уравнение показывает, что суммарный объем пассажироперевозок в моделируемой ТС пропорционален мощности, потребляемой моделью. Токи, протекающие в ветвях электрической схемы замещения, пропорциональны при этом оптимальным объемам пассажироперевозок между пунктами i и j в масштабе γ_2 по критерию минимума трудности сообщения.

Структурная схема моделирующей машины, предназначенной для решения задач прогнозирования пассажироперевозок методом электри-

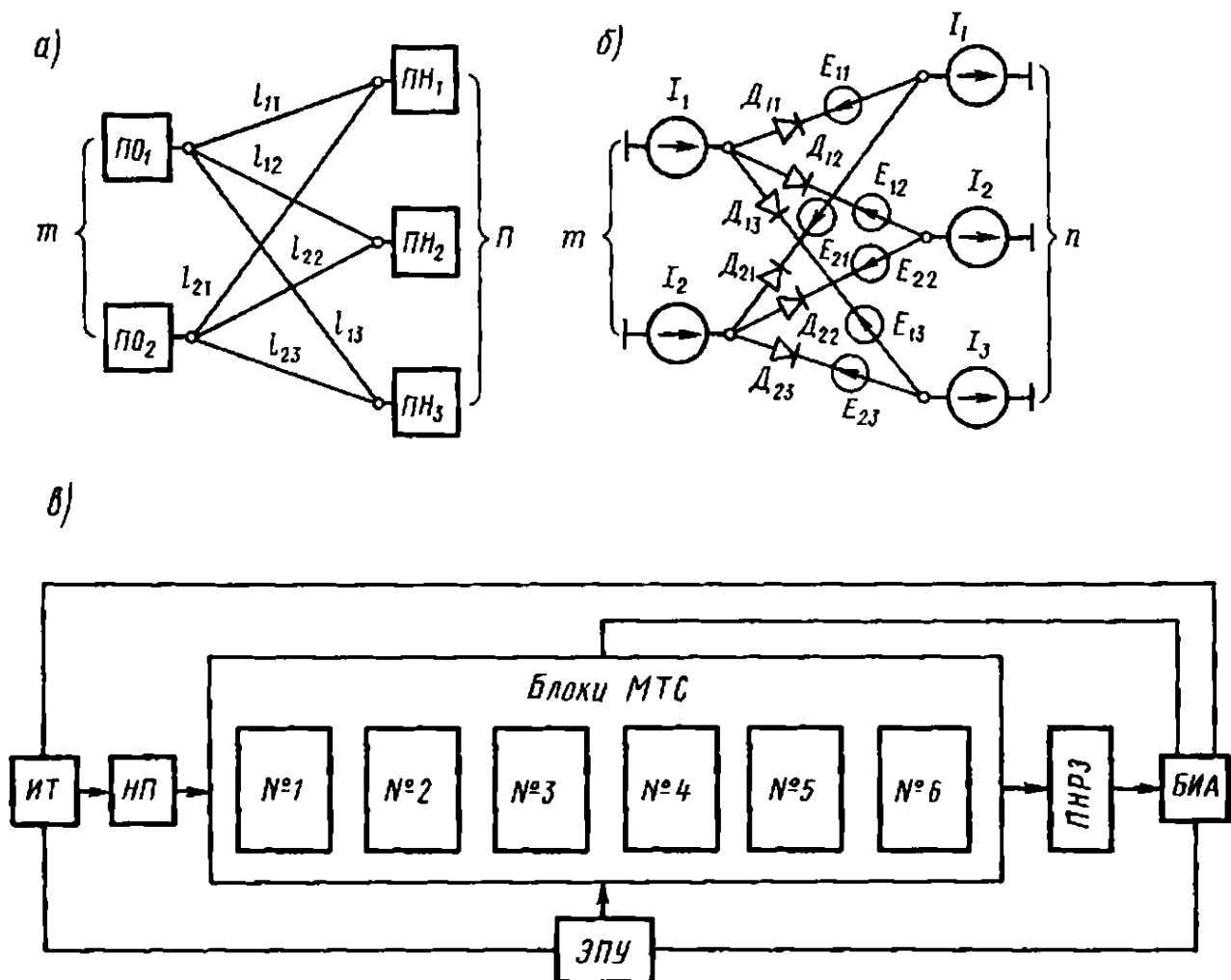


Рис. 11.2

ческого моделирования, показана на рис. 11.2, в. Она включает в себя источники тока *ИТ*, моделирующие потенциалы (емкости) пунктов отправления и назначения; наборное поле *НП*; блоки моделирования транспортной сети *МТС*; поле набора размера задачи *ПНРЗ*; блок измерительной автоматики *БИА* и электропитающее устройство *ЭПУ*. Блок *ИТ* состоит из источников тока типа J_i с отрицательной полярностью, используемых для моделирования потенциалов пунктов отправления, и источников тока типа J_j положительной полярности для моделирования потенциалов (емкости) пунктов назначения. Модель транспортной сети *МТС* состоит из шести блоков, каждый из которых содержит 100 ветвей — аналогов *ТС* и элементы автоматики для измерения напряжений и токов. На гнезда наборного поля *НП* выведены выходы источников тока из блока *ИТ* и элементов ветвей *ТС* из блоков *МТС*. Блок *БИА* состоит из реле, шаговых искателей и генератора импульсов. Электропитающее устройство *ЭПУ* обеспечивает все блоки машины требуемыми напряжениями.

В вероятностных моделях корреспонденции между транспортными районами i и j

$$A_{ij} = A_i A_j P_{ij}, \quad (11.4)$$

где A_i и A_j — емкости взаимодействующих транспортных районов по отправлениям и прибытиям; P_{ij} — вероятность того, что передвижение закончится в зоне j , т. е. количественная оценка «притягательности» зоны j для поездок, зарождающихся в районе i .

Различные вероятностные модели отличаются методикой определения P_{ij} . В предложении нормально-вероятностного распределения связей относительно центров транспортного тяготения величину P_{ij} определяют по (10.34), а ее параметр σ (среднеквадратичное отклонение) — по (10.34а).

К классу вероятностных относят также различные варианты моделей множественной корреляции. Особенность этих моделей в том, что они формируются на основе учета причинно-следственных связей пассажиро-перевозок с определяющими их факторами, устанавливаемыми на основе специальных натурных обследований пассажиро-перевозок. Обследования позволяют выбрать независимые переменные $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, определяющие формирование передвижений населения в заданных условиях, и подобрать соответствующие им эмпирические коэффициенты $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$ в корреляционном уравнении, определяющем количество передвижений, приходящихся на одного жителя транспортного района i :

$$a_{ij} = A_0 + A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3 + \dots + A_n x_n. \quad (11.5)$$

К переменным x_i относят такие, как площадь и населенность корреспондирующих районов i и j по тем или другим социальным группам (рабочих и служащих, учащихся, несамодеятельного населения), демографический состав населения (например, количество семей) в районах i и j ,

уровень автомобилизации, телефонизации, радиофикации, телевидения и др.*

По методике формирования модели множественной корреляции относятся к классу аналоговых. Их применяют и для транспортных расчетов новых городов, но естественной областью их использования являются расчеты транспортного развития существующих городов, применительно к которым они составлены. Корреляционные модели базируются на натурные обследования пассажироперевозок, что придает им более высокий запас надежности по сравнению с другими. Вместе с тем они отражают лишь действующие причинно-следственные связи пассажироперевозок с определяющими факторами, которые могут претерпевать существенные изменения в историческом времени. Поэтому применительно к прогнозированию пассажироперевозок на отдаленную перспективу корреляционные уравнения требуют соответствующего уточнения и доработки.

Следует заметить, что к моделям множественной корреляции близки все модели, требующие «калибровки» — определения коэффициентов при переменных эмпирическим путем, в том числе гравитационные.

По возможностям и направлениям использования близки к моделям множественной корреляции и динамические модели формирования связей, определяющие перспективный объем пассажироперевозок на основе прогнозирования роста существующего. Разновидностями динамических моделей являются:

модель общего фактора роста

$$A_{ijп} = F A_{ij}; \quad (11.6)$$

модель среднего арифметического фактора роста

$$A_{ijп} = 0,5 (F_i + F_j) A_{ij}; \quad (11.7)$$

детройтский метод (модель среднего геометрического фактора роста)

$$A_{ijп} = (F_i F_j / F) A_{ij}; \quad (11.8)$$

* Для передвижений по разным целям корреляционные отношения различны. Тесноту корреляционной связи переменных x и y , находящихся в линейной корреляционной зависимости, оценивают величиной коэффициента корреляции r или коэффициента детерминации D :

$$r = [(\overline{xy} - \bar{x}\bar{y})] / (\sigma_x \sigma_y); \quad D = r^2,$$

где $\bar{x}\bar{y}$ — среднее произведение случайных величин x и y ; $\bar{x}\bar{y}$ — произведение средних; σ_x и σ_y — средние квадратические отклонения переменных x и y (характеристики их законов распределения).

Коэффициент корреляции может находиться в пределах $0 \leq r \leq 1$. При $r=1$ величины x и y находятся в однозначной функциональной связи, при $r=0$ между ними нет линейной корреляционной связи, но может быть нелинейная, которая в общем виде выражается полиномом n -го порядка:

$$y = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 + \dots + A_n x^n.$$

Корреляционную связь переменных, находящихся в нелинейной корреляционной зависимости, оценивают более сложными корреляционными отношениями. Теория корреляционного анализа дается в специальных курсах математики.

метод Фрагара

$$A_{ijn} = F_i F_j 0,5 (L_i + L_j) A_{ij}, \quad (11.9)$$

где

$$L_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} (\sum_{k=1}^n t_{ik} F_k); \quad L_j = \sum_{i=1}^n A_{ij} (\sum_{k=1}^n t_{jk} F_k) \quad (11.10)$$

— «местные факторы», учитывающие влияние на рост пассажироперевозок между рассматриваемыми районами i и j темпов роста остальных районов города;

парижский метод

$$A_{ijn} = F_i F_j A_{ij}$$

при

$$\sum_{j=1}^n F_i F_j A_{ij} = \sum_{j=1}^n A_{ijn}, \quad \sum_{i=1}^m F_i F_j A_{ij} = \sum_{i=1}^m A_{ijn}. \quad (11.11)$$

Здесь A_{ij} , A_{ijn} — существующий и перспективный объем перевозок между транспортными районами i и j ; F — общий фактор роста пассажироперевозок; F_i и F_j — факторы роста пассажироперевозок по соответствующим районам; t_{ij} — трудность сообщения между транспортными районами.

Модель общего фактора роста (11.6) наиболее проста, так как требует экспериментального определения коэффициента роста F лишь по городу в целом. Его находят как отношение объемов пассажироперевозок в разные моменты исторического времени по данным обследований и экстраполируют на расчетный срок. Модель позволяет получить лишь приближенную оценку роста ожидаемых пассажироперевозок. Модель среднего арифметического фактора роста (11.7) оценивает ожидаемый рост пассажироперевозок между отдельными транспортными районами города в функции определяющих их факторов роста (увеличения жилищных и трудовых емкостей районов, снижения трудности сообщения между ними и т. д.). Она дает сравнительно небольшую точность прогноза ожидаемых пассажироперевозок. Детройтский метод (11.8) требует определения трех коэффициентов роста, но дает более точные результаты прогнозирования по сравнению с моделями (11.6) и (11.7). В модели Фрагара (11.9) ожидаемые корреспонденции между районами i и j определяют в функции коэффициентов роста F_i , F_j . При достаточно точной калибровке она дает хорошие результаты прогнозирования.

Одним из основных параметров, определяющих объем передвижений населения между пунктами транспортного тяготения, являются затраты транспортного времени — трудность сообщения. Вместе с тем она может быть определена только при заданной ТС, известной маршрутной системе и различна при использовании разных видов транспорта. Поэтому в основе всех современных моделей прогнозирования пассажироперевозок находится предварительное проектирование ТС и выбор видов транспорта на начальной стадии транспортного расчета, когда они еще принципиально неизвестны. Это обстоятельство существенно ограничивает возможности моделирования, так как нельзя быть уверенным, что намеченный эвристическим методом вариант ТС будет оп-

тимальным. В конечном счете и сама транспортная система будет влиять на размещение населения по территории города. Следовательно, вариант размещения населения и транспортной системы, удовлетворяющий тому уровню их динамического равновесия, который будет характерен для рассматриваемого расчетного периода, можно получить только методом последовательных приближений.

Таким образом, принципиальная ограниченность современных математических моделей прогнозирования пассажироперевозок состоит в том, что ни одна из них не обеспечивает однозначного выбора оптимальной транспортной системы и все они потенциально опираются на существующие виды транспорта. Обилие моделей расчета, их недостаточная точность и ограниченность указывают на необходимость поисков других теоретических подходов к проблеме прогнозирования и расчета пассажироперевозок. В настоящее время ведутся непрерывные поиски в этом направлении, разрабатываются новые варианты вероятностных и динамических моделей, накапливается статистический материал о причинно-следственных связях пассажироперевозок с определяющими их факторами. Получают распространение симуляционные модели, имитирующие на ЭВМ поведение отдельных групп населения при заданных ограничениях, делаются попытки создания моделей формирования транспортных связей, не требующих предварительного проектирования ТС.

В ряде случаев для передвижений разных групп населения принимают разные модели формирования. Обычно считают, что передвижения по трудовым целям формируются в функции трудности сообщения, трудовой подвижности и емкости транспортных районов. Культурно-бытовые передвижения местного значения (внутрирайонные) распределяют в функции трудности сообщения, а передвижения городского значения (к культурно-бытовым предприятиям городского значения — ЦПКиО, центральным стадионам, городским театрам, центральным универсам) и трудовые передвижения учащихся вузов, техникумов и технических училищ — пропорционально селитебной емкости районов отправления независимо от трудности сообщения. Не всегда выбор тех или других гипотез формирования корреспонденций городского населения достаточно обоснован, так как имеющиеся эмпирические материалы еще недостаточны для того, чтобы дать по этим вопросам четкие рекомендации.

§ 11.3. Прогнозирование основных характеристик городских пассажирских перевозок методами укрупненных расчетов

Применяют две группы методов прогнозирования и расчета пассажироперевозок: методы укрупненного ориентировочного расчета объема транспортной работы и методы детального уточненного расчета основных характеристик городских пассажирских перевозок на основе моделей взаимных корреспонденций транспортных районов. Первые применяют как экспресс-методы предварительной оценки ожидаемого пассажирооборота, вторые — как методы окончательных транспортных расчетов. На практике их используют совместно: первые — на началь-

ной стадии расчета, вторые — на стадии детализации проекта транспортного обслуживания или развития городского пассажирского транспорта. Чаще используемым методом укрупненных транспортных расчетов является метод транспортной подвижности, для применения которого необходимо знать населенность города H , общую подвижность городского населения p_0 , территориальные размеры города — его селитебную площадь $F_{\text{сел}}$. Населенность города и его селитебная площадь бывают заданы проектом. Общая подвижность городского населения p_0 должна быть принята с учетом социально-исторической перспективы на расчетный период. Основные факторы, определяющие общую подвижность, — развитие техники информации и связи, ожидаемый уровень автомобилизации и скорости сообщения, обеспечиваемые средствами ГПТ, причем развитие средств информации и связи способствует уменьшению подвижности, а развитие автомобилизации и повышение скоростей сообщения ГПТ — ее росту, так как позволяют в пределах тех же затрат транспортного времени сделать больше поездок. В настоящее время в городах СССР $p_0 = 800—1200$ передвижений на одного жителя в год, в городах Западной Европы $p_0 = 1200—1600$ и в городах США $p_0 = 1600—2000$.

При обосновании выбора общей подвижности основную ее часть — трудовую подвижность определяют расчетом, а культурно-бытовую принимают по данным натурных обследований в городах аналогичной группы населенности, социального состава населения и географического положения с учетом изменения на расчетную перспективу. По этому методу расчета общая подвижность

$$p_0 = (p_t H_t + p_{\text{кб}} H) / H = p_t H_t / H + p_{\text{кб}}, \quad (11.12)$$

где H_t — трудовая часть населения города, жителей; p_t — расчетная трудовая подвижность населения (трудовых передвижений на трудящегося в год); $p_{\text{кб}}$ — принятая культурно-бытовая подвижность населения (передвижений на жителя в год); H — все население города (жителей).

Более точные результаты получают при расчете, основанном на выборе общей подвижности в зависимости от группы города по населенности. В этом случае трудовую подвижность определяют (10.14), а культурно-бытовая

$$p_{\text{кб}} = (p_0 H - p_t H_t) / H = p_0 - p_t H_t / H. \quad (11.13)$$

Транспортная подвижность МПТ (в маршрутных поездках на одного городского жителя в год)

$$p_{\text{МПТ}} = p_0 \varphi_{\text{тр.ср}} \varphi_{\text{МПТ}} k_{\text{пер}}. \quad (11.14)$$

После расчета $p_{\text{МПТ}}$ проверяют по табл. 10.2 на предмет согласования с перспективными величинами для городов аналогичной группы населенности. Средний коэффициент пользования транспортом $\varphi_{\text{тр.ср}}$ выделяет из общей подвижности транспортную. Он зависит от территориальных размеров города, населенности, планировочных решений, типа транспортного обслуживания (видов ГПТ, их скоростных возможностей и комфортабельности), распределения по территории центров

массового тяготения, характеристик ТС (плотность, непрямолинейность, средняя длина перегонов, интервалы движения маршрутного МПТ, условия пересадочности) и др. Таким образом, средний коэффициент пользования транспортом представляет собой функцию многих переменных. Ориентировочные зависимости $\varphi_{\text{тр.ср}}$ от населенности города N и уровня автомобилизации a_A приведены на рис. 10.3, а.

Коэффициент пользования МПТ $\varphi_{\text{МПТ}}$ выделяет из транспортной подвижности передвижения на МПТ (в сетевых поездках на одного жителя в год). Величину его устанавливают в зависимости от уровня автомобилизации по рис. 10.5, а или в функции отношения $t_{\text{МПТ}}/t_A$ затрат времени в поездках с использованием МПТ и легкового автомобиля по рис. 10.5, б. Произведение коэффициента пересадочности $k_{\text{пер}}$ на сетевую подвижность МПТ определяет маршрутную подвижность МПТ в маршрутных поездках на одного жителя в год. Коэффициент пересадочности находят в функции населенности города по рис. 10.6, а.

Транспортная подвижность МПТ по (11.14) определяется как частное от деления количества поездок жителей города в год $A_{\text{МПТ.г.о}}$ на его населенность N . Она не учитывает поездки, совершаемые в городе жителями пригородов ($A_{\text{г.п}}$) и приезжих из других городов ($A_{\text{г.г}}$). С учетом последних общий объем пассажироперевозок (пасс./год), осваиваемый ГМПТ:

$$A_{\text{МПТ.г.о}} = A_{\text{МПТ.г}} + A_{\text{г.п}} + A_{\text{г.г}} = [N + \alpha(N_{\text{г.п}} + N_{\text{г.г}})] p_{\text{МПТ}} = [N + \alpha(N_{\text{г.п}} + N_{\text{г.г}})] p_0 \varphi_{\text{тр.ср}} \varphi_{\text{МПТ}} k_{\text{пер}}, \quad (11.15)$$

где $N_{\text{г.п}}$ и $N_{\text{г.г}}$ — численность пассажиров, приезжающих в город из пригородов и других городов в сутки; α — коэффициент корректировки их подвижности (ориентировочно $\alpha = 1,2$, т. е. подвижность приезжих на 20% выше по сравнению с подвижностью основного городского населения).

Основной частью приезжего населения являются жители пригородов (прямой поток):

$$N_{\text{г.п}} = N \mu \{1 - [t_{\text{г}} - \tau(t_{\text{г.п}} - t_{\text{г}})]/t_{\text{г.п}}\}, \quad (11.16)$$

где μ — удельный вес трудовой емкости главного города в общей численности населения агломерации город-пригород; $t_{\text{г.п}}$ и $t_{\text{г}}$ — средние затраты времени на трудовые передвижения соответственно в целом по агломерации город-пригород и для жителей собственно города относительно мест приложения труда, расположенных в городе; τ — эмпирический коэффициент (для крупных агломераций $\tau = 0,1$).

Для определения объема транспортной работы МПТ необходимо знать среднюю длину маршрутной поездки. Последняя зависит от планировочных характеристик города, плотности его застройки, принципов взаимного размещения центров тяготения, характеристик ТС. Средняя длина сетевой поездки при известной селитебной площади города может быть найдена по (3.64), средняя длина маршрутной поездки (км)

$$L_{\text{ср.м}} = L_{\text{ср}}/k_{\text{пер}}. \quad (11.17)$$

В связи с относительным постоянством константы пространственной самоорганизации населения t_n (см. § 10.3) длина маршрутной поездки в разных городах должна находиться примерно на одном уровне. Данные натурных обследований подтверждают, что с ростом селитебной площади и населенности городов она постепенно, но незначительно, увеличивается в среднем от 3,2 км в городах с населенностью 200 тыс. человек до 3,5 км в городах с населением 1 млн. человек. Эти колебания незначительны и лежат в зоне разброса величин средней дальности маршрутных поездок [2], определяемой различиями транспортных систем и территориальных размеров разных городов (рис. 11.3).

При известных объемах перевозок $A_{\text{МПТ г.о}}$ и средней длине маршрутной поездки $L_{\text{ср.м}}$ объем транспортной работы (пассажирооборот) (пасс-км/год)

$$Q = A_{\text{МПТ г.о}} L_{\text{ср.м}} \quad (11.18)$$

Пример 11.1. Определить ожидаемый пассажирооборот транспортной сети МПТ города с селитебной площадью $F_{\text{сел}} = 250 \text{ км}^2$ и населенностью $N = 3$ млн. человек при перспективной общей целевой подвижности $p_0 = 1200$ передвижений в год на жителя, ожидаемом уровне автомобилизации $a_A = 100$ автомобилей на 1000 жителей и численности приезжающих в город из пригородов и других городов $N_{\text{г.п}} + N_{\text{г.г}} = 0,15 N = 0,15 \cdot 3 = 0,45$ млн. человек в сутки.

Решение. Средний ожидаемый по городу коэффициент пользования транспортом определяем по кривой 2 (рис. 10.3, а при $N = 3$ млн. человек) $\varphi_{\text{тр.ср}} = 0,73$. Коэффициент пользования МПТ при $a_A = 100$ автомобилей на 1000 жителей (рис. 10.5, а) $\varphi_{\text{МПТ}} = 0,53$. Ожидаемый коэффициент пересадочности при $N = 3$ млн. человек (рис. 10.6, а) $k_{\text{пер}} = 1,53$.

Принимая коэффициент корректировки подвижности приезжих $\alpha = 1,2$, ожидаемый годовой объем пассажироперевозок по (11.15)

$$\begin{aligned} A_{\text{МПТ г.о}} &= [N + \alpha (N_{\text{г.п}} + N_{\text{г.г}})] p_0 \varphi_{\text{тр.ср}} \varphi_{\text{МПТ}} k_{\text{пер}} = \\ &= 3 + 1,2 \cdot 0,45 \cdot 1200 \cdot 0,73 \cdot 0,53 \cdot 1,53 = 2,52 \text{ млрд. пасс./год.} \end{aligned}$$

При $a = 1,3$ и $b = 0,3$ (см. § 3.4) по (3.64) средняя ожидаемая длина сегевой поездки в городе

$$L_{\text{ср}} = 1,3 + 0,3 \sqrt{F_{\text{сел}}} = 1,3 + 0,3 \sqrt{250} = 6,05 \text{ км.}$$

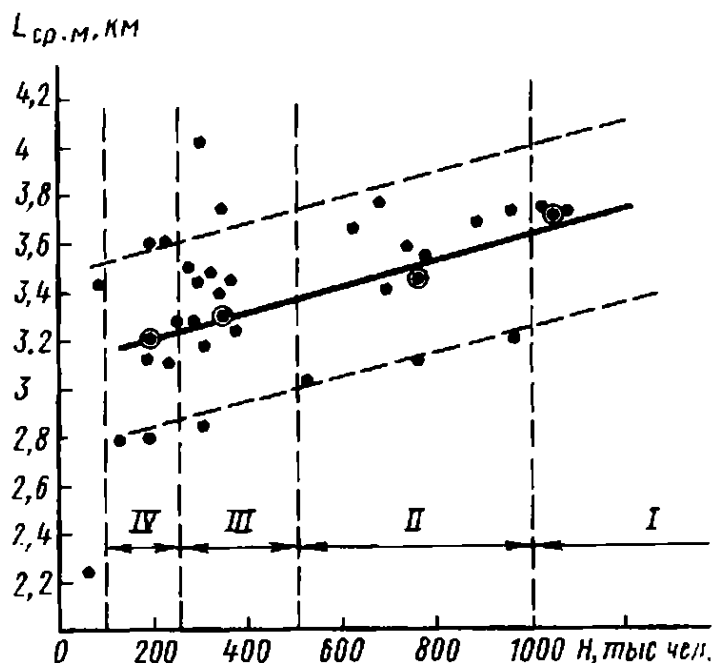


Рис. 11.3

Отчетно-статистические данные зависимости средней длины маршрутных поездок от населенности города:

I – IV – группы населенности городов

По (11.17) средняя ожидаемая длина маршрутной поездки

$$L_{\text{ср.м}} = L_{\text{ср.}}/k_{\text{пер}} = 6,05/1,53 = 3,95 \text{ км.}$$

По (11.18) ожидаемый годовой объем транспортной работы МПТ

$$Q = A_{\text{МПТ.г.о}} L_{\text{ср.м}} = 2,52 \cdot 3,95 = 9,95 \approx 10 \text{ млрд. пасс-км/год.}$$

Проверим, находится ли ожидаемая транспортная подвижность МПТ в пределах рекомендуемых величин. По (11.14) транспортная подвижность МПТ $p_{\text{МПТ}} = p_0 \cdot \Phi_{\text{тр.ср.}} \times \Phi_{\text{МПТ}} \cdot k_{\text{пер}} = 1200 \cdot 0,73 \cdot 0,53 \cdot 1,53 = 710$ поездок на одного жителя в год.

Сравнивая эту цифру с данными табл. 10.2, полагаем, что полученная величина $p_{\text{МПТ}}$ соответствует перспективному.

Приведенный пример показывает, что упрощенный расчет перспективных пассажироперевозок методом транспортной подвижности достаточно прост и отличается небольшой трудоемкостью, но точность его сравнительно невысока. Более точны в этом отношении модели множественной корреляции. Структуру зависимостей, получаемых методами множественной корреляции, можно показать на примере полученных английским специалистом Лесли на основании многофакторного корреляционного анализа эмпирических данных обследований пассажироперевозок по ряду крупных городов разных стран Западной Европы для укрупненного транспортного расчета:

а) требующейся длины сетей общественного транспорта (км)

$$L_{\text{с}} = F^{0,825} (L_{\text{у}}/a)^{0,241}, \quad (11.19)$$

где F — площадь города, км²; $L_{\text{у}}$ — длина магистральных улиц и дорог города, км; a — количество автомобилей в городе, млн. единиц;

б) количества маршрутов МПТ

$$z_{\text{м}} = F^{0,515} L_{\text{у}}^{0,241}, \quad (11.20)$$

в) годового пробега средств МПТ (млн. вагоно-км)

$$ВКМ = H^{0,737} \cdot F^{0,430} (L_{\text{у}}/a)^{0,182}, \quad (11.21)$$

где H — населенность города, млн. человек;

г) годового объема пассажироперевозок (млн. пасс.)

$$A_{\text{МПТ.г.о}} = 251,9632 H; \quad (11.22)$$

д) требующегося количества единиц подвижного состава в движении

$$N_{\text{дв.МПТ}} = 726,9014 H + 0,7634 F. \quad (11.23)$$

Корреляционные отношения между переменными в зависимостях (11.19)—(11.23) равны 0,975—0,996, т. е. показывают тесные причинно-следственные связи определяемых факторов. Корреляционные уравнения просты, но тем не менее модели множественной корреляции имеют два существенных недостатка: требуют трудоемких натурных обследований пассажироперевозок в городах аналогичной группы населенности и не вполне корректны для транспортных расчетов на перспективу,

так как отражают только социально-историческую ситуацию, существовавшую на момент натурных обследований.

Пример 11.2. Определить объем пассажироперевозок для города с населенностью $N = 3$ млн. человек по корреляционным уравнениям Лесли.

Решение. По (11.22) получаем: $A_{\text{МПТГО}} = 251,9632 N = 251,9632 \cdot 3 = 775,8896 \approx \approx 776$ млн. пассажиров. Полученная цифра в 2,52/0,776 = 3,25 раз меньше объема пассажироперевозок, найденного расчетом по методу транспортной подвижности в примере 11.1. Этот расчет показывает, что выбирать метод укрупненного расчета пассажироперевозок нужно с большой осторожностью. Расхождение данных расчетов в примерах 11.1 и 11.2 показывает, что корреляционные соотношения, полученные в условиях зарубежных городов, могут быть неприменимы в нашей стране, характеризующейся принципиально другими социально-историческими условиями формирования пассажироперевозок.

Существенный недостаток укрупненных методов расчета состоит в том, что они дают общие цифры пассажироперевозок и транспортной работы, не привязанные к генеральному плану города и не позволяющие произвести построение для него оптимальной ТС. Они не дают возможность обосновать необходимость строительства конкретных транспортных сооружений (автомагистралей, линий МПТ разных видов, транспортных пересечений и др.), так как решение этих вопросов требует знания конкретных пассажиропотоков в сечениях и направлениях ТС.

Промежуточное положение между укрупненными и точными методами занимают «предсетевые» транспортные расчеты по «воздушным» расстояниям между центрами транспортного тяготения города. Назна-

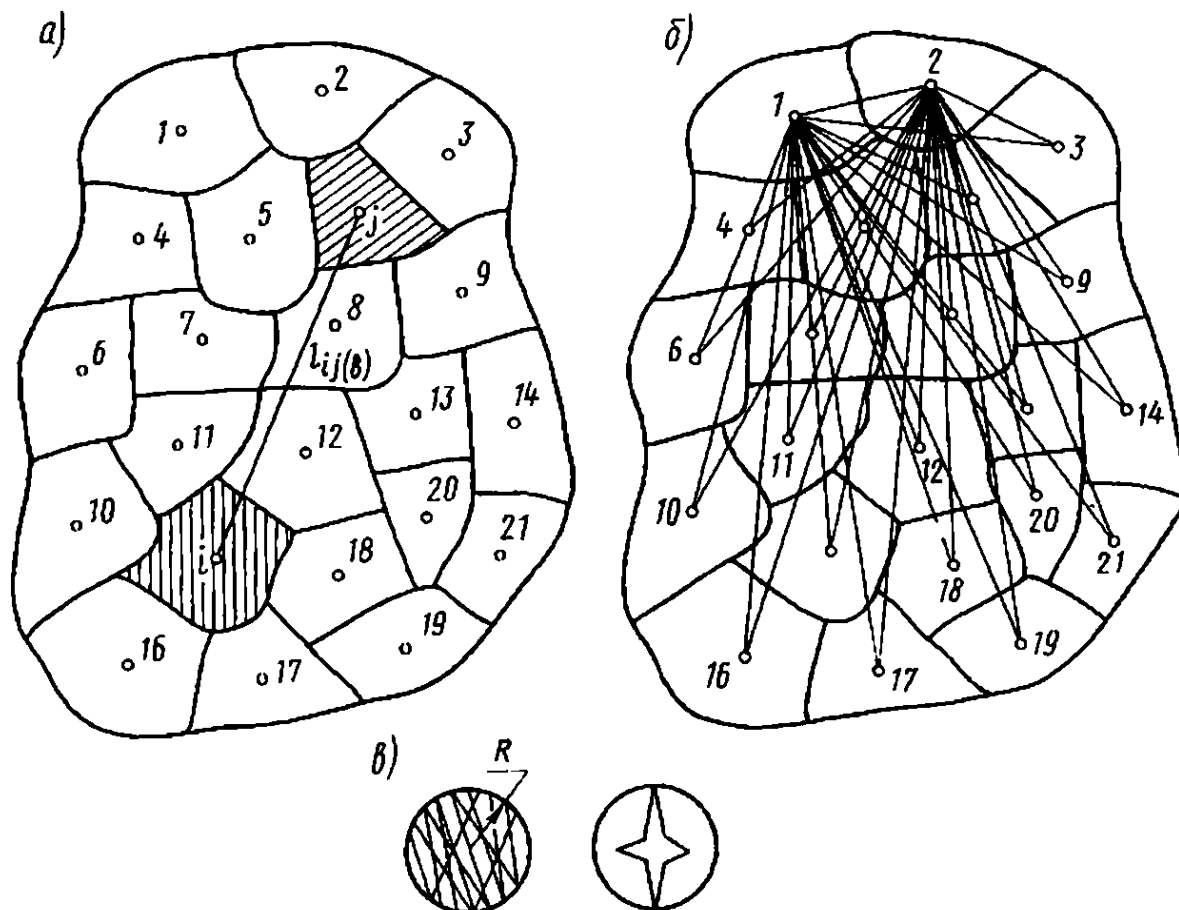


Рис. 11.4

чение этих расчетов — оценить ожидаемые объемы транспортной работы и распределить пассажироперевозки в плане города. На стадии ТЭО генерального плана эти расчеты позволяют оценить принятое зонирование города, дать рекомендации по его улучшению и наметить укрупненную схему его планировочного решения, в наибольшей степени удовлетворяющего транспортные критерии функционирования города.

Основа предсетевых расчетов — генеральный план города, а методика аналогична расчету пассажироперевозок методом взаимных корреспонденций транспортных районов (см. § 11.4), но отличается от него введением ряда упрощений. Территория города расчленяется на ряд территориальных образований — транспортных районов i и j (рис. 11.4, а), которые характеризуются определенной емкостью (населенностью N_i и N_j) и потребностью в передвижениях (подвижностью населения). Воздушные расстояния $l_{ij(a)}$ между районами определяют в единицах трудности сообщения (затрат времени на передвижения), представляя последнюю в виде функции

$$t_{ij} = t_{\text{нак}} + B l_{ij(a)}, \quad (11.24)$$

где $t_{\text{нак}}$ — накладные затраты времени в передвижениях, учитывающие пешеходные подходы к линиям транспорта и затраты времени на ожидание транспорта (принимаются для всех связей одинаковыми по средним ожидаемым данным); $l_{ij(a)}$ — расстояние между центрами районов i и j по воздушной прямой; $B = k_{\text{нп}}/v_{\text{св}}$ — коэффициент, равный средним затратам времени на единицу дальности передвижения с учетом вероятности пересадок в поездках; $k_{\text{нп}}$ — средний по сети коэффициент непрямолинейности передвижений; $v_{\text{св}}$ — средневзвешенная по сети скорость сообщения в передвижениях.

Стрельников А. И. предложил [36] выбирать величины $t_{\text{нак}}$ и B в расчете на высококомфортное «идеальное» транспортное обслуживание и «умеренный» комфорт транспортного обслуживания. В первом случае принимают минимальные величины $t_{\text{нак}}$ (минимальные затраты времени на пешеходный поход $2t_{\text{пеш}}$ и на ожидание транспорта $t_{\text{ож}}$) и B (минимальный коэффициент непрямолинейности $k_{\text{нп}}$ и максимальную скорость сообщения $v_{\text{св}}$ в расчете на освоение пассажироперевозок скоростными видами транспорта), во втором — «умеренные величины» $t_{\text{нак}}$ и B , обеспечивающие нормальное функционирование транспортной системы. Транспортный расчет при таком выборе исходных данных моделирует предельные допускаемые колебания параметров транспортной системы, которые можно использовать в дальнейшем для сопоставления с результатами уточненного транспортного расчета и его оценки.

После получения матриц $\|t_{ij}\|_k$ и $\|t_{ij}\|_y$, соответствующих принятым вариантам комфортного и умеренного транспортного обслуживания, задаются общей подвижностью населения и коэффициентами пользования транспортом, причем по комфортному и умеренному вариантам может быть в принципе принята разная подвижность: средняя для умеренного и максимальная для комфортного. В результате расчета методом взаимных корреспонденций транспортных районов получают матрицы корреспонденций между транспортными районами $\|A_{ij}\|_k$ и

$\|A_j\|_y$ для вариантов комфортного и умеренного транспортного обслуживания, на основании которых по каждому варианту определяют объем транспортной работы и строят картограммы воздушных связей транспортных районов — векторные диаграммы тяготения (рис. 11.4, б), позволяющие анализировать направленность и плотность движения по зонам города. Однако при большом количестве корреспондирующих районов полный граф связей из-за густоты наложения линий не поддается графическому изображению и осмысливанию в практических целях (на рисунке показаны воздушные связи только двух районов 1 и 2 со всеми остальными). Для обобщения векторных диаграмм тяготения используют приемы суммирования близких по направлениям корреспонденций в общий поток. Один из таких приемов, предложенный КиевНИИП градостроительства, заключается в членении территории города регулярной квадратной сеткой. Внутри каждого из квадратов подсчитывают и изображают равнодействующим вектором сумму длин проходящих через него корреспонденций. А. И. Стрельников (ЦНИИП градостроительства, Москва) разработал программу обобщения векторной диаграммы тяготения на ЭВМ методом «скользящего круга»: суммирования корреспонденций внутри круга Q радиуса R , перемещающегося в плане города по узлам регулярной треугольной сетки с автоматическим подсчетом в каждом из его положений общей протяженности векторов корреспонденций и ориентацией суммарного вектора [36]. Принципиальная картина графа связей внутри скользящего круга и положения равнодействующего вектора связей показаны на рис. 11.4, в. Равнодействующий вектор изображает работу связей в окрестности радиуса R в пассажиро-километрах или (будучи отнесен-

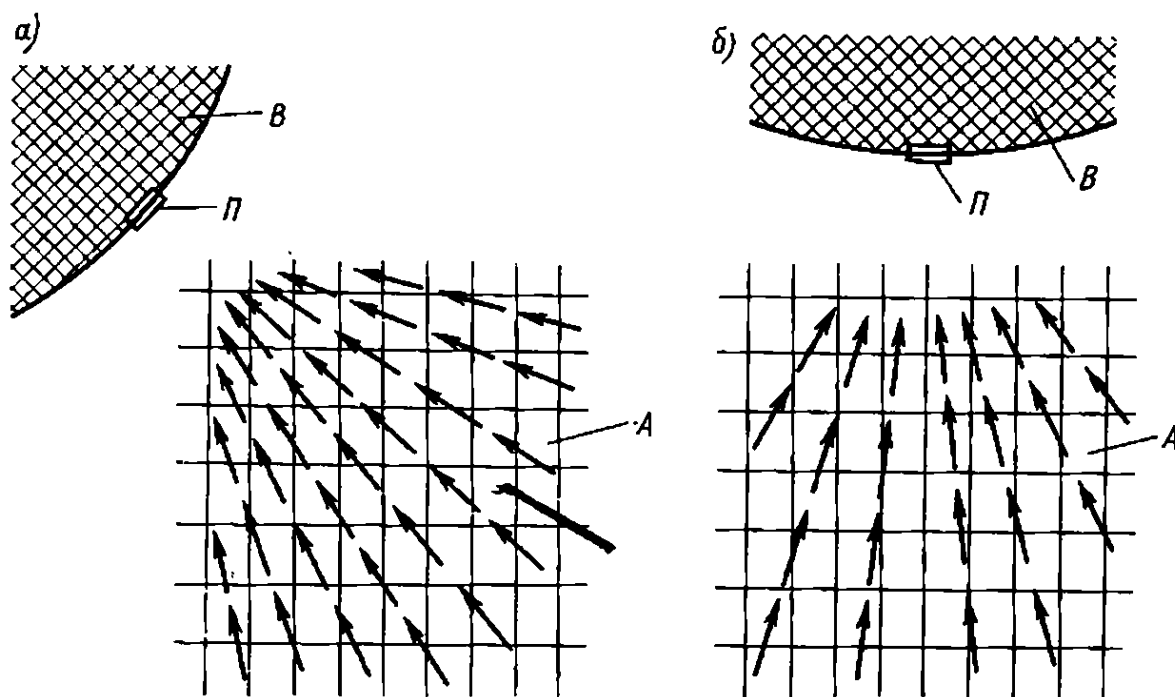


Рис. 11.5

Векторные диаграммы связей жилой зоны A с проходной $П$ промышленной зоны B :

a — не подтверждающая принятую планировочную структуру жилой зоны по критерию прямолинейности связей; b — отвечающая критерию прямолинейности связей

ным к площади круга) плотность корреспонденций в рассматриваемой точке.

Предсетевой транспортный расчет позволяет при сравнительно небольших затратах машинного времени выявить транспортную потребность, порождаемую планировкой (взаиморазмещением центров транспортного тяготения города), оценить планировку города по транспортным показателям и дать рекомендации по ее изменению на начальной стадии градостроительного проектирования. В качестве примера на рис. 11.5 показана обобщенная векторная диаграмма связей селитебных территорий *A* с промзоной *B*, полученная предсетевым расчетом. Из диаграммы видно, что принятая прямоугольная схема планировки жилых зон оправдывает себя по транспортным критериям прямолинейности связей только для варианта размещения селитебной зоны относительно проходной *П* промышленной зоны, показанного на рис. 11.5, б. В этом варианте предсетевой расчет подтверждает принятую планировку селитебной зоны. В варианте, изображенном на рис. 11.5, а, предсетевой расчет показывает диагональные связи селитебной зоны с промышленной, которые не подтверждаются планировкой селитебной зоны. Из этого расчета следует необходимость изменения расположения селитебной территории так, чтобы она «работала» на промышленную зону по схеме варианта, представленного на рис. 11.5, б.

§ 11.4. Прогнозирование пассажироперевозок методом расчета взаимных корреспонденций транспортных районов

Прогнозирование пассажироперевозок методом расчета взаимных корреспонденций транспортных районов требует значительно большего объема расчетов, но зато определяет не только общие величины пассажироперевозок, но и их пространственное распределение по территории города в пределах его ТС. Как и методы укрупненных расчетов, транспортный расчет методом взаимных корреспонденций основан на расчете подвижности населения, которая может быть установлена только ориентировочно. Тем не менее его точность значительно выше, так как объем принимаемых допущений в целом меньше.

Расчет ГПП методом взаимных корреспонденций начинают с определения перспективной общей подвижности основных групп населения города по целям передвижений. Группы населения и цели передвижений выбирают с разной степенью дробления в зависимости от особенностей социального состава города, целей и требующейся точности расчета.

При проектировании транспортного развития расширяющихся городов общую подвижность населения в соответствии с «Указаниями по расчету сетей общественного транспорта, улиц и дорог в проектах генеральных планов городов» [15] рекомендуют определять методом анкетных обследований с последующим прогнозом на расчетную перспективу, разделяя на местную и городскую — подвижность в местных (внутрирайонных) и городских (межрайонных) передвижениях. Такое деление обусловлено тем, что местные передвижения совершаются в основном пешком, не нагружают транспорт, а та их часть, которая реализуется на транспорте, не определяет его нагрузку, так как характеризуется сравни-

тельно небольшой средней длиной передвижения и поэтому мало влияет на объем его транспортной работы. Основную нагрузку на транспорт создают межрайонные (городские) передвижения, так как осуществляются на транспорте и характеризуются сравнительно большой величиной средней длины поездки. В городской подвижности рекомендуют выделять трудовую и культурно-бытовую, а в культурно-бытовой — подвижность в передвижениях «из дома» (начинающихся от мест жительства) и в передвижениях «не из дома» (начинающихся от мест работы или объектов культурно-бытового назначения). Культурно-бытовые передвижения, совершаемые «из дома» и «не из дома» имеют разные закономерности тяготения: первые — пологую, вторые — крутую. Возможно и другое деление культурно-бытовых связей: на передвижения к фокусам общегородского значения, имеющие пологую закономерность тяготения, и на передвижения к фокусам местного или районного значения, имеющие крутую закономерность тяготения.

При классификации передвижений, рекомендуемой [15], общая подвижность населения

$$p_0 = p_m + p_r = p_m + (p_{r,г} + p_{r,кб}) = p_m + \{p_{r,г} + \\ + (p_{r,кб,и.д} + p_{r,кб,н.и.д})\}, \quad (11.25)$$

где p_m и p_r — подвижность в местных и городских передвижениях; $p_{r,г}$ и $p_{r,кб}$ — трудовая и культурно-бытовая подвижность в городских передвижениях; $p_{r,кб,и.д}$ и $p_{r,кб,н.и.д}$ — культурно-бытовая подвижность в городских передвижениях «из дома» и «не из дома».

Соответственно общее годовое количество передвижений всех видов (пешеходных и транспортных)

$$A_0 = A_m + A_r = A_m + (A_{r,г} + A_{r,кб}) = A_m + \{A_{r,г} + \\ + (A_{r,кб,и.д} + A_{r,кб,н.и.д})\} = Hp_m + [Hp_{r,г} + (Hp_{r,кб,и.д} + \\ + Hp_{r,кб,н.и.д})], \quad (11.26)$$

где H — населенность города; $A_m = Hp_m$ — годовое количество местных передвижений; $A_r = A_{r,г} + A_{r,кб}$ — годовое количество городских передвижений; $A_{r,г} = Hp_{r,г}$ — годовое количество трудовых передвижений из группы городских; $A_{r,кб} = A_{r,кб,и.д} + A_{r,кб,н.и.д}$ — годовое количество культурно-бытовых передвижений из группы городских, $A_{r,кб,и.д} = Hp_{r,кб,и.д}$ — годовое количество городских культурно-бытовых передвижений «из дома»; $A_{r,кб,н.и.д} = Hp_{r,кб,н.и.д}$ — годовое количество городских культурно-бытовых передвижений «не из дома».

При отсутствии данных обследований «Указания» рекомендуют принимать общую подвижность населения для городов с населенностью 50 тыс. жителей — 950; 100 тыс. жителей — 1030, 250 тыс. жителей — 1080, 500 тыс. жителей — 1100, 750 тыс. жителей — 1130, 1000 тыс. жителей — 1150, 2500 тыс. жителей — 1200, 5000 тыс. жителей и выше — 1300—1400 передвижений в год на жителя; подвижность в местных передвижениях — равной 25% общей и в городских 75% общей; 30% городских передвижений относить к трудовым и 70% к культурно-бытовым,

причем 35% последних — к категории передвижений «не из дома» и 65% — «из дома». Отдельными коэффициентами или расчетами учитывают также передвижения в городе населения, прибывшего в него из пригородов и других городов.

Для расчета ГПП методом взаимных корреспонденций транспортных районов может быть использована любая из математических моделей, рассмотренных в § 11.2. Расчет по любой из них связан с необходимостью предварительного выбора видов ГПТ, проектирования ТС и маршрутной системы. Требуемые виды ГПТ выбирают в соответствии с социально-историческими условиями, группой города по населенности и перспективами развития ГПТ (см. § 2.3). В современной отечественной практике транспортного проектирования для массовых пассажироперевозок городов I группы населенности в качестве скоростных систем МПТ выбирают метрополитен и скоростной трамвай, для транспортного обслуживания городских центров — троллейбус и автобус, для основных (особенно окраинных) пассажироперевозок — обычный трамвай. Предусматривают также использование таксомоторов и вспомогательных видов ГПТ — движущихся тротуаров, воздушного городского транспорта, фуникулеров и др. В городах II—V групп населенности пассажироперевозки осваивают трамваем, троллейбусом и автобусом. Отличается только удельный вес этих видов ГПТ в пассажироперевозках: в городах II группы населенности основные пассажироперевозки осваиваются трамваем, в городах V группы — автобусом, в городах VI группы населенности пассажиропотоки невелики и осваиваются обычно только автобусом.

Транспортную сеть под выбранные виды ГПТ проектируют в наземном исполнении на магистральных улицах и дорогах общегородского и районного значения, а при необходимости также в подземном (метрополитен, скоростной трамвай) или надземном исполнении на эстакадах. Вначале намечают основную ТС, связывающую главные центры — транспортного тяготения города с минимальным коэффициентом непрямолинейности, затем — вспомогательную ТС подвозящих и развозящих линий местного значения с обеспечением требуемой зоны пешего хождения, транспортной обслуженности города, коэффициента охвата, плотности ТС и других критериев оптимизации. Маршрутную систему намечают по критериям максимальной беспересадочности поездок между основными пунктами транспортного тяготения. Правильный выбор ТС обеспечивает предсетевой транспортный расчет города по воздушным расстояниям.

Идеей транспортного расчета методом взаимных корреспонденций транспортных районов является условная замена сплошной городской структуры с множеством точек зарождения и погашения корреспонденций эквивалентной ей дискретной с ограниченным количеством таких точек. Для этого территорию города разбивают на транспортные районы и вводят две гипотезы: все корреспонденции населения делят на внутрирайонные и межрайонные (городские); принимают, что внутрирайонные передвижения замыкаются внутри транспортных районов и не пересекают их границ, а межрайонные осуществляются между центрами транспортных районов.

Так как корреспондируют между собой остановочные пункты транспортной сети (посадка и высадка пассажиров производится на остановочных пунктах), то за транспортные районы следовало бы принимать зоны транспортного влияния остановочных пунктов. Это обеспечивало бы возможность построения полной картограммы пассажиропотоков по всем перегонам ТС. Однако при этом количество транспортных районов получается весьма большим и трудоемкость транспортного расчета чрезмерной, так как возрастает пропорционально квадрату количества транспортных районов. Поэтому выделять в отдельные транспортные районы рекомендуют только зоны транспортного влияния крупнейших станций скоростного внеуличного транспорта (метрополитена, городских железных дорог). Остальные транспортные районы должны представлять собой зоны транспортного влияния групп остановочных пунктов наземного ГПТ. Линии ТС являются при этом осями симметрии транспортных районов, а их границами — биссектрисы углов, образованных транспортными линиями в узлах ТС и геометрические места точек, равноудаленных от линий ТС по доступности, или естественные рубежи, исключающие движение (линии отвода железных дорог, набережные и т. д.). Как изложено в § 5.2, при прямоугольной транспортной сетке для участка транспортной линии между двумя узлами идеальная форма транспортного района представляет собой шестиугольник, границами которого являются биссектрисы углов, образованных смежными транспортными линиями в узлах, и границы транспортного влияния смежных транспортных линий (см. рис. 5.3, б). При необходимости транспортные районы укрупняют, объединяя несколько зон транспортного влияния в одну с соблюдением принципа компактности: форма компактного транспортного района должна приближаться к круговой. На

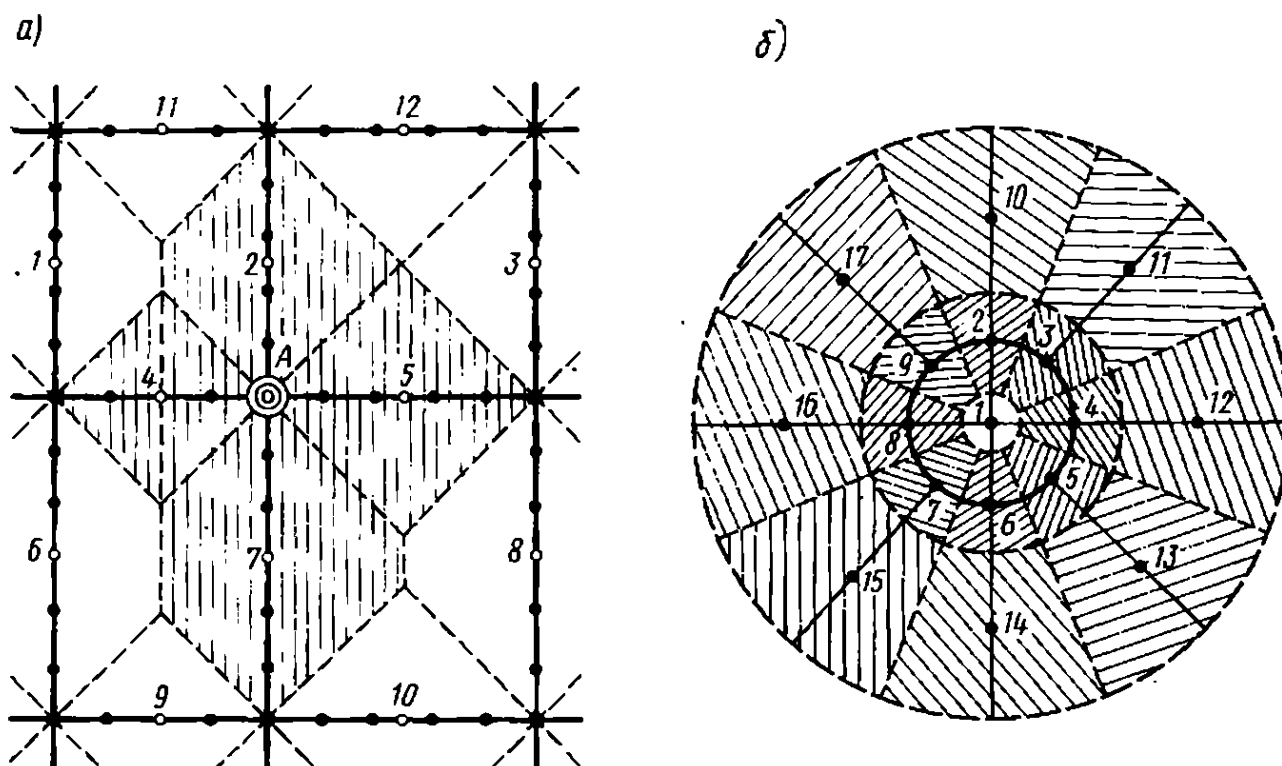


Рис. 11.6

Принципы укрупнения транспортных районов (а) и зонирования территории города (б)

рис. 11.6, а проиллюстрирован принцип укрупнения расчетных транспортных районов.

Транспортная сеть показана здесь сплошными линиями, точками на них — остановочные пункты, пунктирными линиями — границы зон влияния транспортных линий, которые делят территорию между ними на транспортные районы с центрами 1—12. Транспортные районы 2, 4, 5 и 7 объединены в один транспортный район с центром в узле А.

Количество и границы транспортных районов должны быть определены применительно к местным условиям генерального плана и цели расчета передвижений (корреспонденций). Увеличение количества транспортных районов приводит к увеличению объема расчетной работы и поэтому должно быть согласовано с методом расчета (ручной или машинный). С другой стороны, увеличение количества транспортных районов желательно, так как повышается точность проектирования и облегчается построение картограммы пассажиропотоков. Из этих соображений при ручном методе расчета обычно ограничиваются делением территории города не более чем на 25 транспортных районов, а при машинном их количество может быть доведено примерно до 200.

В соответствии с [15] расчетное количество транспортных районов рекомендуют принимать для городов с населением до 200 тыс. человек — 30—35, 200—400 тыс. человек — 35—60, 400—700 тыс. человек — 60—80, 700—1000 тыс. человек — 80—100, свыше 1000 тыс. человек — 100 и более. Площадь транспортных районов следует принимать в расчете на осуществление внутрирайонных связей в основном пешком (порядка 1 км²), однако при ручном счете она может быть значительно больше. Из соображений повышения точности расчета в центральной зоне города площадь транспортных районов принимают наименьшей. По мере приближения к периферии их иногда укрупняют. Расчетные транспортные районы объединяют в три зоны: центральную с территорией примерно 7—8%, срединную с территорией 20—25% и периферийную с территорией 67—73% освоенной территории города. Ориентировочная площадь транспортных районов в центральной зоне города должна составлять 4—40 га, в срединной — 40—100 га и в периферийной — > 100 га. Границы зон намечают по контурам входящих в них транспортных районов. Условный пример зонирования города с радиально-кольцевой схемой ТС показан на рис. 11.6, б. Здесь транспортные магистрали изображены сплошными линиями, границы транспортных районов и зон — пунктирными, центры транспортных районов — точками. Центральную зону города образует транспортный район 1, срединную — транспортные районы 2—9, периферийную — транспортные районы 10—17.

Последним подготовительным этапом к расчетам ГПП методом взаимных корреспонденций является изучение структуры каждого района (промышленный, административный, жилой, смешанный), состава его населения по социальным группам (рабочие, служащие, учащиеся, несамодеятельное население), подсчет количества населения каждой группы, потребности в рабочей силе предприятий района, пропускной способности предприятий культурно-бытового обслуживания (тыс. чел./сут. или тыс. чел./год). Расчеты распределения населения по транс-

Таблица 11.1

Транспортные районы	Показатели								
	N_i	N_{Ti}	P_{Mi}	$P_{C.T.i}$	$P_{Г.кб.нд.i}$	$P_{Г.кб.н.нд.i}$	$N_{Г.п.i}$	$N_{Г.г.i}$	Характеристи- ка района
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1									
2									
3									
...									
...									
...									
k									
Итого . . .	N	N_T	—	—	—	—	$N_{Г.п}$	$N_{Г.г}$	—

портным районам целесообразно проводить с использованием планов размещения в плане города суммарного населения и трудящихся, которые необходимы также для расчетов транспортной обслуженности, обеспечиваемой сетью. Основные данные о транспортных районах заносят в табл. 11.1. Расположение и нумерация транспортных районов на плане города и во всех таблицах должны обеспечивать возможность подведения итогов по принятым зонам города.

В графе 2 указывают общее количество жителей i -го района — его селитебное население (селитебную емкость), в графе 3 — его грузовую емкость (количество работающих в районе), в графах 4—7 — данные о подвижности населения района в местных, городских трудовых и городских культурно-бытовых передвижениях «из дома» и «не из дома» (или к культурно-бытовым центрам районного и общегородского значения), в графах 8 и 9 — количество прибывающих в район жителей пригородов ($N_{Г.п}$) и приезжих из других городов ($N_{Г.г}$), в графе 10 — характеристику района (жилой, промышленный, смешанный, зона тяготения станции метрополитена, стадион, вокзал и т. д.).

Сведения о подвижности населения приводят в тех случаях, когда имеются соответствующие данные, дифференцированные по районам. Такого рода ситуации встречаются редко. Обычно подвижность населения принимают одинаковой для всех районов и в их характеристику не вводят, хотя имеющиеся исследования позволяют учесть зависимость подвижности от трудности сообщения (см. рис. 10.1). Аналогично данные о количестве прибывающих в район из пригородов и других городов приводят при наличии таковых, полученных обследованиями или расчетом.

По данным табл. 11.1 составляют таблицу распределения по районам передвижений населения (емкости по отправлениям) $A_{Mi} = N_i p_{Mi}$, $A_{Г.г.i} = N_i p_{Г.г.i}$; $A_{Г.кб.нд.i} = N_i p_{Г.кб.нд.i}$; $A_{Г.кб.н.нд.i} = N_i p_{Г.кб.н.нд.i}$; $A_{Г.кб.i} = N_i p_{Г.кб.i}$;

$A_{ri} = H_i p_{ri}$; $A_{oi} = H_i p_{oi}$. Затем определяют суммарные передвижения

$$\begin{aligned} A_M &= \sum_k A_{Mi}; \quad A_{r, \Gamma} = \sum_k A_{r, \Gamma i}; \quad A_{r, \text{кб.н.д}} = \sum_k A_{r, \text{кб.н.д} i}; \\ A_{r, \text{кб.н.н.д}} &= \sum_k A_{r, \text{кб.н.н.д} i}; \quad A_{r, \text{кб}} = \sum_k A_{r, \text{кб} i}; \quad A_r = \sum_k A_{ri}; \\ A_o &= \sum_k A_{oi} \end{aligned} \quad (11.27)$$

и соответствующие средние по городу подвижности $p_M = A_M/H$; $p_{r, \Gamma} = A_{r, \Gamma}/H$; $p_{r, \text{кб.н.д}} = A_{r, \text{кб.н.д}}/H$; $p_{r, \text{кб.н.н.д}} = A_{r, \text{кб.н.н.д}}/H$; $p_{r, \text{кб}} = A_{r, \text{кб}}/H$; $p_r = A_r/H$; $p_o = A_o/H$. Необходимость в этих вычислениях возникает в тех случаях, когда подвижности p_{Mi} , $p_{r, \Gamma i}$, $p_{r, \text{кб.н.д} i}$, $p_{r, \text{кб.н.н.д} i}$ заданы дифференцированными по районам. Если подвижности не дифференцированы по районам и взяты по [15], то в табл. 11.1 достаточно иметь графы 1, 2, 3, 8, 9 и 10. Распределения передвижений по районам будут:

$$\begin{aligned} A_{Mi} &= H_i p_M = 0,25 p_o H_i; \quad A_{r, \Gamma i} = H_i p_{r, \Gamma} = 0,75 \cdot 0,3 p_o H_i = \\ &= 0,225 p_o H_i; \quad A_{r, \text{кб} i} = H_i p_{r, \text{кб}} = 0,75 \cdot 0,7 p_o H_i = 0,525 p_o H_i; \\ A_{r, \text{кб.н.д} i} &= H_i p_{r, \text{кб.н.д}} = 0,525 \cdot 0,65 p_o H_i = 0,34125 p_o H_i; \\ A_{r, \text{кб.н.н.д} i} &= H_i p_{r, \text{кб.н.н.д}} = 0,525 \cdot 0,35 p_o H_i = 0,18375 p_o H_i, \end{aligned} \quad (11.28)$$

где p_o — общая целевая подвижность, принятая в соответствии с рекомендациями по [15].

Суммарные передвижения подсчитывают по (11.26). Для расчетов расстояний и трудности сообщения между транспортными районами по ТС определяют положение «центров тяжести» (ЦТ) районов — равнодействующих центров зарождения или погашения соответствующих корреспонденций. Обычно за центр тяжести транспортного района принимают его главный транспортный узел с учетом того, что остановочные пункты с большим пассажирообменом располагаются в транспортных узлах. Если их несколько, то отыскивают общий центр тяжести селитебных или трудовых емкостей транспортного района и в зависимости от положения «привязывают» его к одному или нескольким транспортным узлам или к ближайшим транспортным линиям по кратчайшим расстояниям. Предпочтительнее привязывать центры тяжести транспортных районов к транспортным узлам, так как это упрощает дальнейшую обработку графа транспортной сети и уменьшает объем данных о ней, вводимых в расчет.

При определении положения центров тяжести транспортных районов принимают гипотезу, что в селитебных (жилых) районах с однородной застройкой (одинаковой плотностью населения во всех точках) ЦТ совпадает с геометрическим центром района (рис. 11.7, а). При неоднородной застройке ЦТ определяют как равнодействующую центров селитебной емкости отдельных участков (рис. 11.7, б) с центрами 1, 2 и 3. Центр тяжести промышленных районов определяют как центр рабочей нагрузки проходных 1, 2 и 3 всех его предприятий (рис. 11.7, в). В сме-

инанных промышленно-жилых районах следует определять положение ЦТ селитебной и промышленной зон, так как участие их в формировании передвижений обычно прямо противоположно: когда жилые выступают как центры зарождения передвижений, промышленные являются центрами их погашения, и наоборот.

При правильной разбивке территории города на транспортные районы ЦТ районов должны совпадать с их главными транспортными узлами или лежать на линиях ТС (как ЦТ района i на рис. 11.7, $з$). Расстояния между транспортными районами определяют как расстояния между их ЦТ по ТС. Если ЦТ районов не привязаны к транспортным узлам и не лежат на линиях ТС, то расстояния между ними определяют как расстояния по ТС между основаниями перпендикуляров, опущенных из ЦТ на линии ТС (как для ЦТ района j на рис. 11.7, $з$). В качестве примера на рис. 5.3, $а$ показано, что центр 06 транспортного района 4—11—9—3—4 лежит на линии ТС, центр 04 транспортного района 7—8—9—10—7 привязан к транспортным узлам 7 и 9, а центры остальных транспортных районов — к транспортным линиям по крайчайшим расстояниям.

Результаты расчетов расстояний l_{ij} между ЦТ транспортных районов и основных пунктов транспортного тяготения города (промышленных и культурно-бытовых центров) сводят в косую таблицу-матрицу межрайонных связей (табл. 11.2).

Расчеты корреспонденций населения производят по разным гипотезам, в частности с выделением местных (внутрирайонных) пешеходных в самой расчетной модели с использованием коэффициента пользования транспортом и с выделением их вне расчетной модели. В первом случае в расчет вводят общую подвижность p_0 , а во втором — только подвижность p , населения в городских (межрайонных) передвижениях.

Дальность внутрирайонных передвижений населения определяет планировочная организация микрорайонов и жилых районов города, а не транспортных районов, которые являются искусственными модельными образованиями и никакого отношения к формированию внутрирайонных передвижений не имеют. В современных условиях, когда жилые районы проектируют как планировочные образования с замкнутой системой повседневного обслуживания населения, расположенные в междоместной зоне с запрещенным движением общественного транспорта, все внутрирайонные передвижения осуществляются в основном пешком, поэтому выделение из них транспортных с использо-

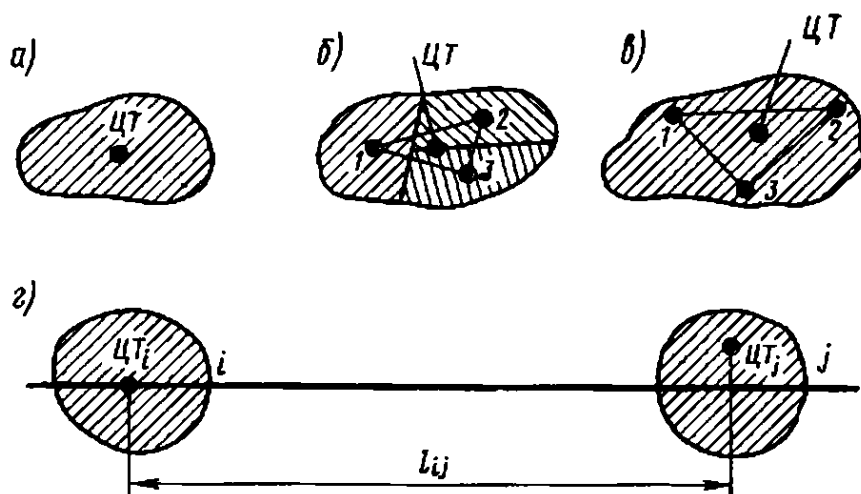


Рис. 11.7

Определения положения центра тяжести транспортного района и расстояния между транспортными районами

Таблица 11.2

Транспортные районы	Транспортные районы					Основные пункты транспортного тяготения				
	I	2	3	...	k	I	II	III	...	N
1	l_{11}	l_{12}	l_{13}	...	l_{1k}	l'_{1I}	l'_{1II}	l'_{1III}		l'_{1N}
2		l_{22}	l_{23}	...	l_{2k}		l'_{2II}	l'_{2III}		l'_{2N}
3			l_{33}	...	l_{3k}			l'_{3III}		l'_{3N}
...										
k					l_{kk}	l'_{kI}	l'_{kII}	l'_{kIII}		l'_{kN}

ванием коэффициента пользования транспортом непропорционально. В [15] предусмотрено как основной рекомендуемый прием выделение их вне модели расчета межрайонных корреспонденций. Расстояния внутрирайонных передвижений $l_{11}, l_{22}, l_{33}, \dots$ в табл. 11.2 в этом случае не вводят.

Возникающие при этом трудности связаны с количественным выражением внутрирайонных передвижений, так как рекомендуемую [15] цифру (25% общей подвижности) нельзя считать достаточно обоснованной, что ясно следует при сравнении ее, например, с данными табл. 10.1. Поэтому применяют и расчеты корреспонденций населения с выделением местных пешеходных в расчетной модели с использованием коэффициента пользования транспортом. Для расчета дальности внутрирайонных передвижений [15] рекомендует выражение (3.65), которое можно использовать только в том случае, если под $F_{\text{сел}}$ понимается площадь межмагистральной территории, а не транспортного района. Расчет расстояний внутрирайонных передвижений по (3.65) с подстановкой в нее площади транспортного района приводит к завышению расстояний внутрирайонных передвижений по сравнению с фактическими.

Если ориентироваться на рекомендуемую оптимальную транспортную сетку с шагом 660 м в центральных и 920 м в периферийных районах города (см. § 5.2), то по (3.65) получим для центральных районов города

$$l_{ii} = 0,7\sqrt{F_{\text{сел}}} = 0,7\sqrt{0,66^2} = 0,46 \text{ км.} \quad (11.29)$$

Этому расстоянию соответствуют затраты пешеходного времени

$$t_{ii} = l_{ii}/v_{\text{пеш}} = (0,46/4) 60 = 7 \text{ мин.} \quad (11.30)$$

Аналогично для периферийных районов:

$$l_{ii} = 0,7\sqrt{F_{\text{сел}}} = 0,7 \cdot 0,92 = 0,645 \text{ км;} \quad (11.31)$$

$$t_{ii} = l_{ii}/v_{пеш} = (0,645/4) 60 = 10 \text{ мин.} \quad (11.32)$$

В транспортных расчетах l_{ii} и t_{ii} принимают обычно средними по городу, приведенными с учетом количества реализаций в передвижениях:

$$t_{ii} = (\sum A_u t_u + \sum A_{ср} t_{ср} + \sum A_{пер} t_{пер}) / (\sum A_u + A_{ср} + A_{пер}), \quad (11.33)$$

где A_u , $A_{ср}$ и $A_{пер}$ — объемы внутрирайонных передвижений в центральных, срединных и периферийных районах города; t_u , $t_{ср}$ и $t_{пер}$ — соответствующие им средние затраты времени на одно передвижение.

Следует отметить, что в центральных районах городов плотность передвижений максимальна, а плотность ТС часто превышает рекомендуемую; расчет фактических затрат времени на пешеходные передвижения в городах обычно затруднен, а сами эти передвижения в большинстве реализуются пешком и не нагружают ТС; внутрирайонные передвижения, реализующиеся через ТС, мало отражаются на объеме выполняемой ею транспортной работы, так как осуществляются на короткие расстояния. Эти соображения позволяют при расчетах затрат времени во внутрирайонных передвижениях ограничиваться сравнительно небольшой точностью. Соответственно в обычных транспортных расчетах трудность внутрирайонных передвижений для всех транспортных районов принимают одинаковой — 5—7 мин из расчета среднего расстояния пешего передвижения на 350—500 м или поездки на расстояние до 1 км.

Трудность сообщения между транспортными районами отправления и прибытия определяют с учетом затрат времени на пешеходные подходы от двери пункта отправления ПО к остановкам транспорта и от остановок к двери пункта назначения ПН, времени ожидания транспорта и транспортного передвижения, включая пересадки, по (3.30) с учетом (3.38), (3.42) или (3.46) и (3.50). Трудность сообщения зависит от плотности ТС, длины перегонов, плотности движения, характеристик маршрутной системы. Все эти характеристики в разных транспортных районах в принципе различны: в центральных районах плотность сети больше, а длина перегонов меньше, чем в периферийных, отличается плотность движения и т. д. Для упрощения расчетов затраты пешеходного времени $t_{пеш}$ всех транспортных районов принимают одинаковыми и определяют по (3.38) с учетом средней по городу плотности ТС и длины перегона. Аналогичные упрощения принимают и при расчете среднего времени ожидания транспорта на остановочном пункте $t_{ож}$. Между транспортными районами, связанными одним маршрутом, без учета коэффициента нерегулярности $t_{ож} = 0,5 t_n$. Между транспортными районами, связанными несколькими маршрутами, $t_{ож} = 0,5 t_c$, где t_c — сетевой интервал на участке сети, связывающем рассматриваемые транспортные районы.

Величину маршрутного интервала t_n определяют по данным укрупненного расчета пассажироперевозок методом транспортной подвижности. Если годовой пассажирооборот ТС, определенный этим расчетом, равен Q , средняя длина пассажиропоездки — $L_{ср}$, средняя расчетная вместимость поездов принятых видов ГПТ — m_p , эксплуатацион-

ная скорость — v , среднее число часов работы на линии в сутки — h , среднесуточный коэффициент наполнения подвижного состава — k_n , то количество поездов в движении $N_{\text{дв}}$, требующееся для обслуживания пассажироперевозок, определим из выражения $Q/(365h) = N_{\text{дв}} m_p k_n v$, откуда

$$N_{\text{дв}} = Q/(365 h m_p k_n v). \quad (11.34)$$

Если общая длина запроектированных маршрутов транспортной сети $\sum l_m = L_c k_m$, где L_c — длина ТС, то средний маршрутный интервал

$$t_n = l_n/v = (2 \sum l_m / N_{\text{дв}}) / v = 730 k_m L_c h m_p k_n / Q. \quad (11.35)$$

Количество пересадок $k_{\text{пер}}$ в транспортном сообщении между районами по маршруту l_{ij} определяют в соответствии с принятой маршрутной системой. Принимают затраты времени на одну пересадку $t_{\text{пер}} = t_{\text{ож}} = 0,5 t_n$.

Время движения на транспорте $t_{\text{п.н}}$ между районами i и j определяется расстоянием между ними l_{ij} и скоростью сообщения v_c принятых видов транспорта:

$$t_{\text{п.н } ij} = l_{ij}/v_c. \quad (11.36)$$

Результаты расчетов трудности сообщения между транспортными районами сводят в матрицу (косую таблицу маршрутных связей), аналогичную табл. 11.2. Для транспортных районов, расстояния между которыми по ТС меньше 3 км, подсчитывают одновременно два значения трудности сообщения: транспортную и пешеходную, так как в связях этих районов только часть передвижений будут транспортными. Транспортные передвижения выделяют из общих коэффициентами $\phi_{\text{тр}}$ и $\phi_{\text{мпт}}$. Первый находят по кривым, изображенным на рис. 10.3, б или на рис. 10.4, б, а второй — по кривым, показанным на рис. 10.5, а или б.

После такой предварительной работы начинают расчет корреспонденций между транспортными районами. Последние рассматривают при этом как районы зарождения (отправления) и погашения (прибытия) корреспонденций или смешанные районы отправления и прибытия. Районы отправления обозначают индексом i , районы прибытия — индексом j , смешанные районы — индексом i по отправлениям и индексом j по прибытиям. Иногда индексы i и j опускают, так как при смешанном характере транспортных районов по отправлениям и прибытиям пользоваться ими затруднительно.

Корреспонденции между транспортными районами можно рассматривать или по отправлениям (рис. 11.8, а), или по прибытиям (рис. 11.8, б), причем оба эти варианта в принципе равноценны, так как в среднем за сутки число отправок уравнивается числом прибытий. Однако дальше будет показано, что вследствие введения в расчет функций тяготения условие равенства корреспонденций соответствующим емкостям (трудовой или культурно-бытовой) районов отправления и прибытия обычно не соблюдается. Это приводит к необходимости корректировать данные расчета (проводить балансировку корреспонденций). Трудовые корреспонденции отличаются высокой детерминированностью, выра-

жающейся в строгом соответствии между количеством отправлений $\sum_j A_{ij}$ и селитебной емкостью районов отправления A_i ($\sum_j A_{ij} = A_i$), с одной стороны, и между количеством прибытий $\sum_i A_{ij}$ и трудовой емкостью районов

прибытия A_j ($\sum_i A_{ij} = A_j$), с другой. Считают, что расчет трудовых корреспонденций принципиально правильнее вести по прибытиям (распределять прибытия между районами отправления), которые заданы в виде трудовой емкости мест приложения труда, а не по отправлениям (распределением отправлений между районами прибытия), так как в этом случае контроль по прибытиям отсутствует. Расчет культурно-бытовых передвижений принципиально правильнее вести по отправлениям, так как они менее детерминированы, чем трудовые, и связанная с этим расчетом неравномерность распределения прибытий и возможность их несоответствия культурно-бытовой емкости районов прибытия отражает реально наблюдающуюся зависимость культурно-бытовой подвижности и распределения культурно-бытовых передвижений от трудности сообщения: переполюснение легкодоступных культурно-бытовых центров и сравнительно малую посещаемость труднодоступных.

Прибытия A_{jj} населения той или другой группы (трудящиеся, учащиеся, несамодеятельное население) в пункты тяготения района j складываются из прибытий A_{jj} в эти пункты населения района j и прибытий A_{ij} населения из остальных $k-1$ районов:

$$A_j = A_{jj} + \sum_{i=1}^{k-1} A_{ij}, \text{ или } A_j = \sum_{i=1}^{i=k} A_{ij}, \quad (11.37)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, j, \dots, k$ — номера всех транспортных районов города, включая и район j .

Аналогичной суммой определяют и корреспонденции, если рассматривать их по отправлениям. В этом случае отправления из i -го района в остальные будут

$$A_i = \sum_{j=1}^{j=k} A_{ij}, \quad (11.38)$$

где $j = 1, 2, 3, \dots, i, \dots, k$ — номера всех транспортных районов города, включая и район i .

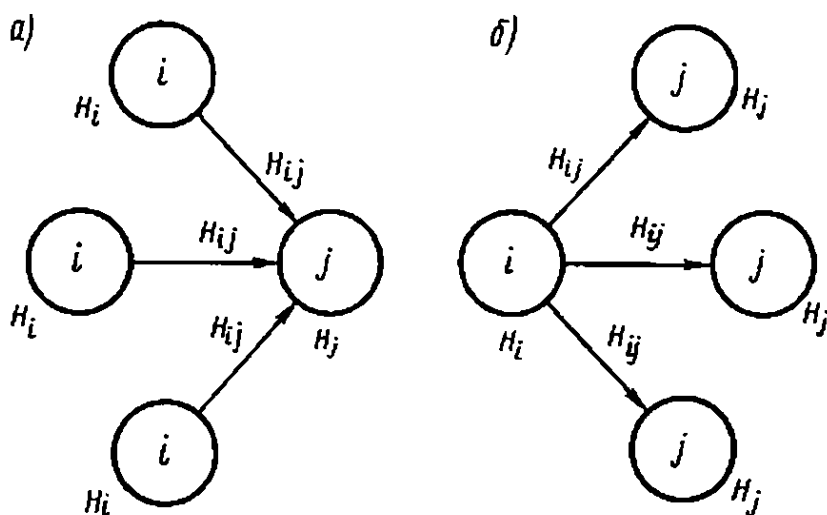


Рис. 11.8

Схемы транспортных расчетов по отправлениям (а) и прибытиям (б)

Для расчета корреспонденций A_{ij} необходимо прежде всего задаться законами распределения их по дальности в зависимости от целей передвижения или, как говорят, выбрать гипотезу расчета взаимных корреспонденций. Трудовые передвижения, как уже отмечалось, всегда распределяют между районами отправления и прибытия в зависимости от трудности сообщения между ними по одной из математических моделей (§ 11.2) или гипотез расселения (см. § 10.3). Менее определенен выбор гипотез распределения по транспортным районам деловых передвижений, трудовых передвижений учащихся (вузов, техникумов, технических училищ) и культурно-бытовых передвижений всех видов. В первом приближении все эти корреспонденции распределяют пропорционально селитебной емкости транспортных районов независимо от трудности сообщения [в соответствии с гипотезой равновероятного тяготения, выраженной (10.44)]. Однако наличие зависимости их от трудности сообщения очевидно, хотя сам характер этой зависимости чаще всего неизвестен. Поэтому иногда и эти корреспонденции, как и трудовые, распределяют пропорционально селитебной емкости транспортных районов отправления с учетом трудности сообщения между ними. Принимают и другие гипотезы, например распределение передвижений пропорционально условным «потенциалам тяготения» центров транспортного тяготения, определяемым по данным натурных обследований или экспертных оценок.

Рассмотрим прежде всего методику расчета взаимных корреспонденций районов по трудовым передвижениям. В соответствии с (11.37) потребность предприятий района j в трудящихся (рабочих и служащих) H_{Tj} должна удовлетворяться за счет прибытия их из всех транспортных районов города, включая и район j (рис. 11.8, а). Если считать корреспонденции трудящихся H_{Tij} пропорциональными трудовой емкости районов отправления i и вероятности передвижений между ними по трудности сообщения, оцениваемой функцией тяготения d_{ij} , то при расчете по прибытиям

$$H_{Tij} = H_{Tj} \{k_i k_{\Sigma Ti} d_{ij} / [\sum_k k_i k_{\Sigma Ti} d_{ij}]\}; \quad \sum_k H_{Tij} = H_{Tj}, \quad (11.39)$$

где H_{Tj} — трудовая емкость района j ; k_i — нормирующий множитель для балансировки корреспонденций по отправлениям (его смысл будет пояснен позже); $k_{\Sigma Ti} = H_{Ti}/H_T$ — весовой коэффициент трудового населения района i , определяющий долю трудящихся H_{Ti} района i по отношению к общему количеству рабочих и служащих города H_T . (При однородной социальной структуре населения всех районов города $k_{\Sigma Ti} = H_i/H$. Здесь H_i — деятельное селитебное население района i ; H — деятельное население города); d_{ij} — функция трудового тяготения корреспондирующих районов i и j по трудности сообщения t , полученная по данным натурных обследований трудовых передвижений или принятая по той или другой гипотезе трудового расселения (см. § 10.6); $i = 1, 2, 3, \dots, j, \dots, k$.

При расчете по отправлениям (см. рис. 11.8, б) трудящиеся районов i распределяются по районам прибытия j , причем отправления H_{Tji} трудящихся в район j из района i будут:

$$H_{Tji} = H_{Ti} \{k_j k_{B.Tj} d_{ij} / [\sum_k k_j k_{B.Tj} d_{ij}]\}; \quad \sum_k H_{Tji} = H_{Ti}, \quad (11.40)$$

где H_{Ti} — трудовая емкость района i ; $k_{B.Tj} = H_{Tj} / H_i$ — весовой коэффициент трудовой емкости района j по отношению к общей трудовой емкости рабочих и служащих города; k_j — нормирующие множители для балансировки корреспонденций по прибытиям.

При годовой подвижности рабочих и служащих $p_{г.р.с}$ годовой объем грузовых передвижений между районами i и j $A_{Tij} = H_{Tij} p_{г.р.с}$. Из них транспортные передвижения

$$A_{Tpij} = A_{Tij} \Phi_{Tpij} = H_{Tij} p_{г.р.с} \Phi_{Tpij}.$$

Из них транспортные передвижения МПТ

$$A_{МПТij} = A_{Tpij} \Phi_{МПТij} = H_{Tij} p_{г.р.с} \Phi_{Tpij} \Phi_{МПТij}.$$

Количество маршрутных поездок $A_{МПТijм}$ между районами i и j определяется количеством сетевых поездок $A_{МПТij}$ и пересадок $k_{пер}$ в передвижениях между ними, зависящим от принятой маршрутной схемы. Если количество пересадок в сетевой поездке между i и j по принятой маршрутной схеме равно $k_{пер}$, то годовой объем пассажироперевозок МПТ (маршрутных поездок) $A_{МПТijм} = A_{МПТij} (k_{пер} + 1)_{ij} = H_{Tij} p_{г.р.с} \cdot \Phi_{Tpij} \Phi_{МПТij} (k_{пер} + 1)_{ij}$. Или с учетом (11.39):

$$A_{МПТijм} = H_{Tj} \{k_i k_{B.Ti} d_{ij} / [\sum_k k_i k_{B.Ti} \times \\ \times d_{ij}]\} p_{г.р.с} \Phi_{Tpij} \Phi_{МПТij} (k_{пер} + 1)_{ij}. \quad (11.41)$$

По (11.41) может быть определен годовой объем пассажироперевозок МПТ между всеми транспортными районами и центрами транспортного тяготения города. Результаты расчета сводят в таблицу, аналогичную табл. 11.2.

Пассажирооборот МПТ при обслуживании трудовых перевозок рабочих и служащих между районами i и j :

$$Q_{МПТij} = A_{МПТij} l_{ij}, \quad (11.42)$$

где l_{ij} — расстояние между центром транспортного тяготения района отправления i и центром трудового тяготения района прибытия j , взятое по косой таблице межрайонных связей. Результаты расчета пассажирооборота по (11.42) сводят в таблицу, аналогичную табл. 11.2.

По (11.41) и (11.42) можно рассчитывать не только трудовые поездки МПТ рабочих и служащих, но и поездки всех других категорий, для которых подходит принятая в этом расчете гипотеза распределения корреспонденций между транспортными районами. Для категорий передвижений, распределяемых по районам отправления пропорционально их селитебной емкости независимо от трудности сообщения в предположении равновероятного распределения корреспонденций, годовой объем пассажироперевозок МПТ

$$A_{\text{МПТ } ij} = H_{\text{гр}} [k_i k_{\text{в } \text{гр}} / \sum_k k_i k_{\text{в } \text{гр}}] p_{\text{гр}} \times \\ \times \varphi_{\text{тр } ij \text{ гр}} \varphi_{\text{МПТ } ij \text{ гр}} (k_{\text{пер}} + 1), \quad (11.43)$$

где $H_{\text{гр}}$ — суммарное количество группы населения города, тяготеющего в рассматриваемой категории передвижений к району прибытия j (включая и соответствующую группу населения самого района j); k_i — нормирующие множители для балансировки корреспонденций по отправлениям; $k_{\text{в } \text{гр}}$ — весовые коэффициенты районов i по населению, участвующему в рассматриваемой группе передвижений; $p_{\text{гр}}$ — подвижность населения в передвижениях рассматриваемой группы; $\varphi_{\text{тр } ij \text{ гр}}$ и $\varphi_{\text{МПТ } ij \text{ гр}}$ — коэффициенты пользования транспортом в передвижениях рассматриваемой группы между районами i и j .

Для категорий передвижений, распределяющихся пропорционально селитебной емкости районов отправления i и потенциалам тяготения районов прибытия j независимо от трудности сообщения между ними, годовой объем пассажироперевозок МПТ из селитебного района i в район j с потенциалом тяготения P_j будет:

$$A_{\text{МПТ } ij} = H_{\text{гр}} [k_i k_{\text{в } \text{гр}} / (\sum_k k_i k_{\text{в } \text{гр}})] \times \\ \times (P_j / \sum P_j) p_{\text{гр}} \varphi_{\text{тр } ij \text{ гр}} \varphi_{\text{МПТ } ij \text{ гр}} (k_{\text{пер}} + 1), \quad (11.44)$$

где $H_{\text{гр}}$ — суммарное по городу население селитебных районов, формирующее рассматриваемую группу перемещений.

Потенциалы тяготения P_j определяют относительную частоту посещения населением рассматриваемой группы центров тяготения района j по сравнению с остальными $n-1$ районами, имеющими учреждения того же типа. Величину коэффициентов P_j определяют методами натурных обследований или экспертных оценок.

Выясним влияние выбора гипотез формирования корреспонденций на результаты расчета транспортных систем.

Пример 11.3. Город (рис. 11.9, а) имеет два культурно-бытовых центра x и y , потенциалы тяготения (популярности и посещаемости) которых по данным обследований $P_x = 3$ и $P_y = 2$, и три селитебных района 1, 2 и 3, емкость которых по культурно-бытовым передвижениям $A_1 = 100$, $A_2 = 200$ и $A_3 = 300$ тыс. передвижений/год. Дальность сообщения из селитебных районов 1, 2 и 3 в культурно-бытовые центры x и y : $l_{2x} = 2,84$ км, $l_{3x} = 5,62$ км, $l_{1y} = 7,07$ км, $l_{2y} = 4,23$ км, $l_{3y} = 2,2$ км. Селитебная площадь района 1 $F_1 = 2$ км². Маршрутная система состоит из маршрутов 1—3— y и 1—2— y . Найти годовой объем передвижений населения в культурно-бытовые центры x и y , годовой объем пассажироперевозок МПТ и годовой объем работы МПТ по культурно-бытовым пассажироперевозкам при трех гипотезах распределения передвижений: A — пропорционально селитебной емкости районов отправления независимо от дальности передвижений и потенциалов тяготения культурно-бытовых центров (по гипотезе равновероятного тяготения); B — пропорционально селитебной емкости районов отправления и потенциалам тяготения культурно-бытовых центров независимо от дальности передвижений; B — пропорционально селитебной емкости районов отправления, потенциалам тяготения культурно-бытовых центров и вероятности передвижений по трудности сообщения. Принять затраты времени на пешеходные подходы к линиям МПТ и от них $2t_{\text{пеш}} = 15$ мин, средний маршрутный интервал $t_{\text{м}} = 5$ мин, скорость сообщения средств МПТ — $v_c = 17$ км/ч, нормирующий множитель $k_i = 1$.

Решение. 1. При распределении передвижений по гипотезе A (равновероятного тяготения). Годовой объем передвижений любого селитебного района будет делиться между всеми n культурно-бытовыми центрами поровну и составит:

а) из селитебного района 1 в культурно-бытовые центры x и y $A_{1x} = A_{1y} = A_1/n = 100/2 = 50$ тыс. передвижений/год;

б) из селитебных районов 2 и 3 в центры x и y

$A_{2x} = A_{2y} = A_2/n = 200/2 = 100$ тыс. передвижений/год;

$A_{3x} = A_{3y} = A_3/n = 300/2 = 150$ тыс. передвижений/год.

Между селитебными районами 1, 2 и 3 и культурно-бытовыми центрами x, y объем пассажироперевозок МПТ

$$A_{МПТij} = A_{ij} \varphi_{тр1j} \varphi_{МПТij} (k_{пер} + 1)_{ij}. \quad (11.45)$$

При заданной маршрутной системе пересадочность в поездках из селитебных районов в культурно-бытовые центры отсутствует и $k_{пер} = 0$. Дальность внутрирайонных передвижений в селитебном районе 1 к культурно-бытовому центру x определим по (3.65):

$$l_{1x} = 0,7 \sqrt{F_1} = 0,7 \sqrt{2} = 0,986 \approx 1 \text{ км.}$$

В зависимости от дальности поездок по кривой 2 (см. рис. 10.4, б) коэффициенты пользования транспортом $\varphi_{тр1x} = 0,2$; $\varphi_{тр2x} = 0,9$; $\varphi_{тр3x} = 1$; $\varphi_{тр1y} = \varphi_{тр2y} = 1$; $\varphi_{тр3y} = 0,6$.

Примем $\varphi_{МПТ} = 0,8$ (коэффициент пользования МПТ). По (11.45) получим:

$$A_{МПТ1x} = A_{1x} \varphi_{тр1x} \varphi_{МПТ} (k_{пер} + 1) = 5 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 8 \text{ тыс. поездок/год;}$$

$$A_{МПТ2x} = 100 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 72 \text{ тыс. поездок/год.}$$

Аналогично $A_{МПТ3x} = 120$; $A_{МПТ1y} = 40$; $A_{МПТ2y} = 80$ и $A_{МПТ3y} = 72$ тыс. передвижений/год. Можно считать, что пассажиропоток $A_{МПТ1y}$ распределится между направлениями $1-3-y$ и $1-2-y$ обратно пропорционально дальности поездок $l_{13y} = 7,74$ км и $l_{12y} = 7,07$ км (в общем случае распределится обратно пропорционально трудности сообщения по этим направлениям) и составят:

$$A_{13y} = A_{МПТ1y} [l_{12y} / (l_{12y} + l_{13y})] = 40 [7,07 / (7,07 + 7,74)] =$$

$$= 40 (7,07 / 14,81) = 19 \text{ тыс. поездок/год; } A_{12y} = A_{МПТ1y} [l_{13y} / (l_{12y} + l_{13y})] =$$

$$= 40 (7,74 / 14,81) = 21 \text{ тыс. поездок/год.}$$

Пассажиропотоки сети будут:

на участке 1-2 $A_{12} = A_{МПТ2x} + A_{12y} = 72 + 21 = 93$ тыс. пасс/год;

на участке 2-у $A_{2y} = A_{МПТ2y} + A_{12y} = 80 + 21 = 101$ тыс. пасс/год;

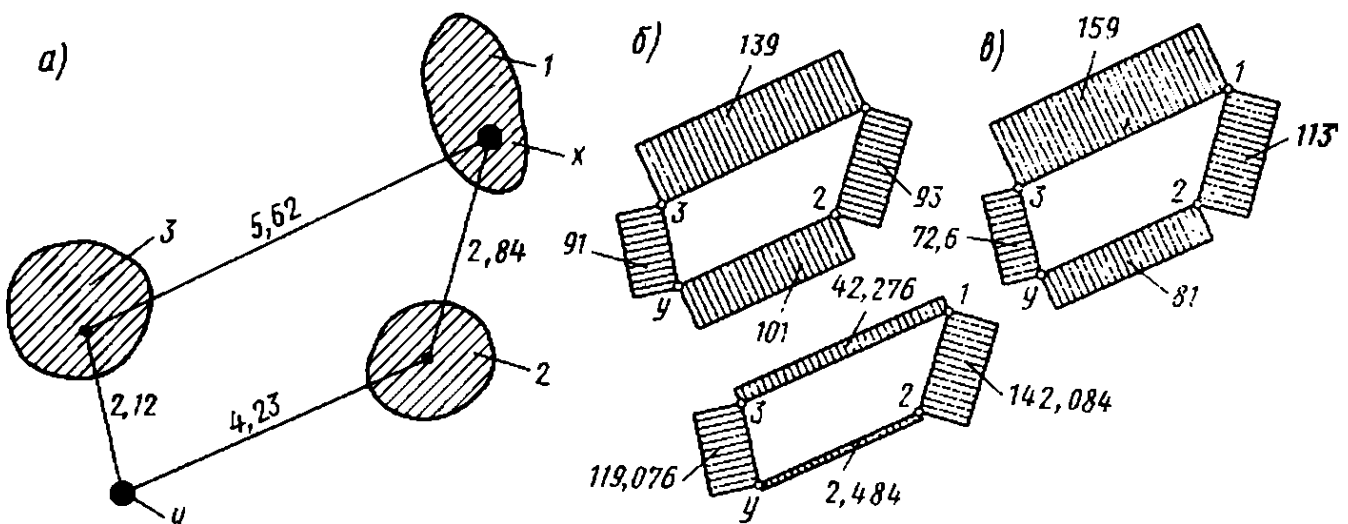


Рис. 11.9

Схема пентров тяготения и картограммы пассажиропотоков

на участке 1-3 $A_{13} = A_{МПТ3х} + A_{13у} = 120 + 19 = 139$ тыс. пасс/год;

на участке 3-у $A_{3у} = A_{МПТ3у} + A_{13у} = 72 + 19 = 91$ тыс. пасс/год.

Картограмма этих пассажиропотоков показана на рис. 11.9, б. Предложенную в примере маршрутную систему оценим коэффициентами заполнения картограмм пассажиропотоков (см. § 3.5). Для маршрутов 1-3-у и 1-2-у получим:

$$k_{3,к13у} = (139 \cdot 5,62 + 91 \cdot 2,12) / [139 (5,62 + 2,12)] = 0,905;$$

$$k_{3,к12у} = (93 \cdot 2,84 + 101 \cdot 4,23) / [101 (2,84 + 4,23)] = 0,97.,$$

При этом средний коэффициент заполнения картограмм пассажиропотоков маршрутной системы

$$k_{3,к,м.с} = (0,905 \cdot 7,74 + 0,97 \cdot 7,07) / (7,74 + 7,07) = 0,935.$$

Полученный $k_{3,к,м.с}$ весьма высок, что характеризует рациональность принятой маршрутной системы.

Следовательно, по гипотезе А объем транспортной работы МПТ

$$Q = \sum A_{ij} l_{ij} = 93 \cdot 2,84 + 101 \cdot 4,23 + 139 \cdot 5,62 + 91 \cdot 2,12 = 1664 \text{ тыс. пасс/км.}$$

2. При распределении передвижений по гипотезе Б. Годовой объем передвижений из любого селитебного района будет распределяться между n культурно-бытовыми центрами пропорционально их коэффициентам тяготения: $A_{1х} = A_1 [P_x / (P_x + P_y)] = 103 \cdot 3 / (3 + 2) = 60$ тыс. передвижений/год; $A_{1у} = A_1 [P_y / (P_x + P_y)] = 100 \cdot 2 / (3 + 2) = 40$ тыс. передвижений/год; $A_{2х} = A_2 [P_x / (P_x + P_y)] = 200 \cdot 3 / (3 + 2) = 120$ тыс. передвижений/год.

Аналогично $A_{2у} = 8$, $A_{3х} = 180$ и $A_{3у} = 120$ тыс. передвижений/год. Расчет объема пассажироперевозок МПТ по (11.45) дает: $A_{МПТ1х} = 9,6$; $A_{МПТ2х} = 96$; $A_{МПТ3х} = 144$; $A_{МПТ1у} = 33$; $A_{МПТ2у} = 64$ и $A_{МПТ3у} = 57,6$ тыс. поездов/год. Распределение пассажиропотока $A_{МПТ1у}$ между направлениями 1-3-у и 1-2-у будет: $A_{13у} = A_{МПТ1у} [l_{12у} / (l_{12у} + l_{13у})] = 32 \cdot 7,07 / 14,81 = 15$ тыс. поездов/год; $A_{12у} = A_{МПТ1у} - A_{13у} = 33 - 15 = 17$ тыс. поездов/год.

Пассажиропотоки сети будут: $A_{12} = A_{МПТ2х} + A_{12у} = 96 + 17 = 113$ тыс. пасс./год; $A_{2у} = A_{МПТ2у} + A_{12у} = 64 + 17 = 81$ тыс. пасс/год; $A_{1-3} = A_{МПТ3х} + A_{13у} = 144 + 15 = 159$ тыс. пасс/год; $A_{1-у} = A_{МПТ3у} + A_{13у} = 57,6 + 15 = 72,6$ тыс. пасс/год.

Картограмма пассажиропотоков показана на рис. 11.9, в. Коэффициенты заполнения картограмм пассажиропотоков маршрутов и маршрутной системы составят:

$$k_{3,к13у} = (159 \cdot 5,62 + 72,6 \cdot 2,12) / [159 (5,62 + 2,12)] = 0,85;$$

$$k_{3,к12у} = (113 \cdot 2,84 + 81 \cdot 4,23) / [113 (2,84 + 4,23)] = 0,83;$$

$$k_{3,к,м.с} = (7,74 \cdot 0,85 + 7,07 \cdot 0,83) / (7,74 + 7,07) = 0,84.$$

Коэффициенты заполнения картограмм удовлетворительны, но все же меньше, чем в расчете по варианту А.

Объем транспортной работы ПМТ по гипотезе Б

$$Q = \sum A_{ij} l_{ij} = 113 \cdot 2,84 + 81 \cdot 4,23 + 159 \cdot 5,62 + 72,6 \cdot 2,12 = 1708 \text{ тыс. пасс-км.}$$

При распределении передвижений по гипотезе В. Здесь необходимо предварительно определить трудности сообщения и коэффициенты вероятности перемещений между селитебными районами и центрами культурно-бытового тяготения. Трудность сообщения

$$t = 2l_{неш} + t_{ож} + t_{дв} + k_{пер} t_{пер}, \quad (11.46)$$

где $t_{дв} = l_{ij} / v_c$ — затраты времени на движение между районами i и j в средствах МПТ.

Для принятых условий $t_{ож} = 0,5$ мин и $k_{пер} = 0$. Трудность сообщения (мин):

$$t_{ij} = 15 + 2,5 + (l_{ij} / 17) 60 = 17,5 + 3,53 l_{ij}. \quad (11.47)$$

Для внутрирайонных передвижений в районе l к центру x при $l_{1x} = 1$ км по (11.47) находим $t_{1x} = 17,5 + 3,53 \cdot 1 = 21$ мин. Пешеходное движение на пути l_{1x} требует затрат времени, приведенных по энергетическим затратам к транспортному $t_{1x\text{пеш}} = (l_{1x}/v_{\text{пеш}}) \epsilon_w = (1/4) 60 \cdot 1,5 = 22,5$ мин.

Низкий коэффициент пользования транспортом в поездках A_{1x} объясняется тем, что $t_{1x} \approx t_{1x\text{пеш}}$. Для остальных передвижений получим: $t_{2x} = 17,5 + 3,53 \cdot 2,84 = 27,5$ мин; $t_{3x} = 17,5 + 3,53 \cdot 5,62 = 37,3$ мин; $t_{1y} = 17,5 + 3,53 \cdot 7,07 = 42,4$ мин; $t_{2y} = 17,5 + 3,53 \cdot 4,23 = 32,4$ мин; $t_{3y} = 17,5 + 3,53 \cdot 2,12 = 25$ мин.

Коэффициенты вероятности рассматриваемых передвижений по трудности сообщения $d_{1x} = 0,165$; $d_{2x} = 0,125$; $d_{3x} = 0,015$; $d_{1y} = 0,005$; $d_{2y} = 0,03$; $d_{3y} = 0,105$. Годовой объем передвижений между селитебными районами и пунктами тяготения в соответствии с гипотезой B распределяется пропорционально селитебной емкости первых, потенциалам тяготения вторых и трудности сообщения между ними:

$$A_{ij} = A_i \{ \Pi_j d_{ij} / [\sum \Pi_j d_{ij}] \}. \quad (11.48)$$

По (11.48) получим: $A_{1x} = A_1 \{ \Pi_x d_{1x} / [\Pi_x d_{1x} + \Pi_y d_{1y}] \} = 100 \cdot 3 \cdot 0,165 / (3 \cdot 0,165 + 2 \cdot 0,005) = 99,8$ тыс. передвижений/год; $A_{1y} = A_1 - A_{1x} = 100 - 99,8 = 0,2$ тыс. передвижений/год; $A_{2x} = A_2 \{ \Pi_x d_{2x} / [\Pi_x d_{2x} + \Pi_y d_{2y}] \} = 200 \cdot 3 \cdot 0,125 / (3 \cdot 0,125 + 2 \cdot 0,03) = 197$ тыс. передвижений/год; $A_{2y} = A_2 - A_{2x} = 200 - 197 = 3$ тыс. передвижений/год; $A_{3x} = A_3 \{ \Pi_x d_{3x} / [\Pi_x d_{3x} + \Pi_y d_{3y}] \} = 300 \cdot 3 \cdot 0,015 / (3 \cdot 0,015 + 12 \cdot 0,105) = 52$ тыс. передвижений/год; $A_{3y} = A_3 - A_{3x} = 300 - 52,8 = 247,2$ тыс. передвижений/год.

Годовой объем пассажироперевозок МПТ из селитебных районов в центры культурно-бытового тяготения найдем по (11.45): $A_{МПТ1x} = 99,8 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 1 = 16$ тыс. поездок/год; $A_{МПТ1y} = 0,2 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,16$ тыс. поездок/год; $A_{МПТ2x} = 197 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 142$ тыс. поездок/год; $A_{МПТ2y} = 3 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 2,4$ тыс. поездок/год; $A_{МПТ3x} = 52,8 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 42,2$ тыс. поездок/год; $A_{МПТ3y} = 247,2 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1 = 119$ тыс. поездок/год.

Распределяя пассажироперевозки $A_{МПТ1y}$ между направлениями $1-3-y$ и $1-2-y$, получим: $A_{13y} = A_{МПТ1y} \{ l_{12y} / (l_{12y} + l_{13y}) \} = 0,16 \cdot 7,07 / (7,07 + 7,74) = 0,076$ тыс. поездок/год; $A_{12y} = A_{МПТ1y} - A_{13y} = 0,16 - 0,076 = 0,084$ тыс. поездок/год.

Пассажиропотоки сети будут: $A_{1-2} = A_{2x} + A_{12y} = 142 + 0,084 = 142,084$ тыс. поездок/год; $A_{2y} = A_{МПТ2y} + A_{12y} = 2,4 + 0,084 = 2,484$ тыс. поездок/год; $A_{13} = A_{МПТ3x} + A_{13y} = 42,2 + 0,076 = 42,276$ тыс. поездок/год; $A_{3y} = A_{МПТ3y} + A_{13y} = 119 + 0,076 = 119,076$ тыс. поездок/год.

Картограмма пассажиропотоков показана на рис. 11.9, г. Коэффициенты заполнения картограмм маршрутов и маршрутной системы будут: $k_{3,kl3y} = (42,276 \cdot 5,62 + 119,076 \cdot 2,12) / (5,62 + 2,12) = 0,53$; $k_{3,kl2y} = (142,084 \cdot 2,84 + 2,484 \cdot 4,23) / (2,84 + 4,23) = 0,41$; $k_{3,klc} = (0,53 \cdot 7,74 + 0,41 \cdot 7,07) / (7,74 + 7,07) = 0,47$.

Такие коэффициенты заполнения картограмм неприемлемы. Напрашивается решение: снять линии МПТ на направлении $2-y$, например, заменив его маршрутным таксом, и, пересмотрев остальную маршрутную сеть, создать маршрут $2-1-3-y$ на пассажиропоток 42,276 тыс. пасс./год и короткие маршруты $1-2$ и $3-y$ на разность соответствующих пассажиропотоков.

По гипотезе B объем транспортной работы

$$Q = \sum A_{ij} l_{ij} = 142,084 \cdot 2,84 + 2,484 \cdot 4,23 + 42,276 \cdot 5,62 + 119,076 \cdot 2,12 = 903 \text{ тыс. пасс-км.}$$

При сравнении вариантов расчета A , B и B обращает на себя внимание следующее:

1. Результаты расчетов по разным гипотезам существенно различны. Значит, основное значение в расчетах городских пассажироперевозок имеет правильный выбор гипотезы их формирования, который должен быть обоснован доверительными теоретическими соображениями или натурными обследованиями. При неправильном выборе гипотезы формирования передвижений результаты транспортных расчетов могут давать резко искаженную картину пассажироперевозок.

2. Из принятых в примере гипотез формирования передвижений

населения наиболее близка к действительности последняя — гипотеза распределения передвижений пропорционально селитебной емкости районов отправления, потенциалам тяготения районов прибытия и трудности сообщения между ними. Полученный объем транспортной работы МПТ для этого варианта намного ниже, чем для остальных. Следовательно, использование других гипотез приводит к завышению объемов работы МПТ.

§ 11.5. Процедура балансировки корреспонденций

Рассмотрим внимательнее нормирующие множители k_i и k_j в (11.39) и (11.40). Корреспонденции рассчитывают обычно в предположении полной сбалансированности города по грузовым связям, т. е. для «замкнутых» городов, в которых сумма селитебных емкостей районов отправления в точности равна сумме трудовых емкостей районов прибытия (количество трудящихся, отправляющихся на работу, равно количеству мест приложения труда):

$$\sum_i A_{ti} = \sum_j A_{tj}. \quad (11.49)$$

При расчете корреспонденций по (11.39) и (11.40) условие (11.49) всегда выполняется автоматически. Этого, однако, мало. Необходимо, чтобы были сбалансированы по отправлениям и прибытиям все транспортные районы, т. е. в результате расчета корреспонденций по отправлениям сумма прибытий из всех районов отправления i в любой район прибытия j , равная $\sum_i A_{tji}$, в точности соответствовала его грузовой емкости A_j (условие равенства количества отправок из селитебных районов i их селитебным емкостям A_i при этом выполняется автоматически), а при расчете корреспонденций по прибытиям количество отправок из любого района i , равное $\sum_j A_{tij}$, в точности соответствовало его селитебной емкости A_i (условие равенства количества прибытий в районы j их трудовым емкостям A_j выполняется в этом случае автоматически), т. е.

$$\sum_i A_{tij} = A_{tj}; \quad \sum_j A_{tij} = A_{ti}. \quad (11.50)$$

В отличие от (11.49) условия (11.50) при расчете корреспонденций по (11.39) и (11.40) выполняются автоматически только при равновесном тяготении, когда $d_{ij} = 1$. При любой другой функции тяготения результаты однократного расчета корреспонденций (при $k_i = 1$ и $k_j = 1$) удовлетворяют только одному из двух условий (11.50) — первому при расчете корреспонденций по прибытиям или второму при расчете корреспонденций по отправлениям. Поэтому возникает необходимость корректировки результатов расчета (балансировки корреспонденций) так, чтобы одновременно соблюдались оба равенства (11.50). Известно несколько таких методов балансировки корреспонденций: наименьших квадратов, Вашингтона и др. [33]. В отечественной проектной практике широко используют метод Ю. А. Шацкого (Гипрогор, Москва). Поясним его простейшим примером.

Пример 11.4. Пусть трудовые емкости районов 1, 2 и 3 по прибытию (трудовые емкости предприятий, расположенных в районах 1, 2 и 3) будут $H_{j1} = 300$; $H_{j2} = 500$ и $H_{j3} = 200$ единиц, а расселение трудящихся в них (трудовая емкость H_i по отправлению) $H_{i1} = 0$, $H_{i2} = 400$ и $H_{i3} = 600$ единиц, т. е. район 1 представляет собой чисто промышленную зону, а районы 2 и 3 — смешанные (с трудовой и жилой емкостью). Для всех районов расстояния внутрирайонных корреспонденций $l_{11} = l_{22} = l_{33} = 1$ км, расстояния межрайонных корреспонденций $l_{12} = 2$ км, $l_{13} = 4$ км, $l_{23} = 2$ км. Функция тяготения трудовых корреспонденций гиперболическая $d_{ij} = 1/l$. Рассчитать внутрирайонные и межрайонные трудовые корреспонденции с навязкой не более 1%.

Решение. Значения функции тяготения $d_{ij} = 1/l$ для связей рассматриваемых районов: $d_{11} = d_{22} = d_{33} = 1/1 = 1$; $d_{12} = 1/2$; $d_{13} = 1/4$; $d_{23} = 1/2$.

Рассчитаем корреспонденции по прибытиям, воспользовавшись модификацией выражения (11.39):

$$H_{ij(n)} = H_j \left\{ k_{i(n)} H_i d_{ij} / \left[\sum_k k_{i(n)} H_i d_{ij} \right] \right\}. \quad (11.51)$$

где $H_{ij(n)}$ — население, участвующее в корреспонденциях между i и j (по расчету на n -й итерации); H_j — заданная трудовая емкость района j по прибытиям; $k_{i(n)}$ — нормирующие множители на n -й итерации; k — количество взаимодействующих районов отправления и прибытия.

Нулевая итерация. Полагая на первой (нулевой) итерации нормирующие множители $k_{i(0)} = 1$, получим: $k_{1(0)} H_{i1} d_{11} = 1 \cdot 0 \cdot 1 = 0$; $k_{2(0)} H_{i2} d_{21} = 1 \cdot 400 \cdot 0,5 = 200$; $k_{3(0)} H_{i3} d_{31} = 1 \cdot 600 \cdot 0,25 = 150$; $\theta_{(0)} = \sum_k k_{i(0)} H_i d_{ij} = 0 + 200 + 150 = 350$.

Соответственно корреспондирующее трудовое население по прибытиям в район $j = 1$ будет:

из района 1 (проживающее в районе 1 и работающее в нем) $H_{11(0)} = H_{j1} [k_{1(0)} H_{i1} d_{11} / \theta_{(0)}] = 300 (0/350) = 0$, так как район 1 не имеет жилой емкости;

из района 2 $H_{21(0)} = H_{j1} [k_{2(0)} H_{i2} d_{21} / \theta_{(0)}] = 300 (200/350) = 171,429$ ед;

из района 3 $H_{31(0)} = H_{j1} [k_{3(0)} H_{i3} d_{31} / \theta_{(0)}] = 300 (150/350) = 128,571$ ед.

Сумма прибытий в район 1 из районов i : $\sum_i H_{i1(0)} = H_{11(0)} + H_{21(0)} + H_{31(0)} = 0 + 171,429 + 128,571 = 300,0$ ед., т. е. трудовой емкости района прибытия $j = 1$, что и следовало ожидать, так как расчет ведется по прибытиям.

Аналогично для района прибытия $j = 2$: $H_{12(0)} = H_{j2} [k_{1(0)} H_{i1} d_{12} / \theta_{(0)}] = 500 (0/350) = 0$; $H_{22(0)} = H_{j2} [k_{2(0)} H_{i2} d_{22} / \theta_{(0)}] = 500 (200/350) = 285,714$ ед.; $H_{32(0)} = H_{j2} [k_{3(0)} H_{i3} d_{32} / \theta_{(0)}] = 500 (150/350) = 214,286$ ед.

Сумма прибытий в район $j = 2$ из районов i :

$\sum_i H_{i2(0)} = 0 + 285,714 + 214,286 = 500$ ед., т. е. трудовой емкости района $j = 2$ по прибытиям.

Для района прибытия $j = 3$, аналогично найдем

$H_{13(0)} = 0$; $H_{23(0)} = 50$ ед.; $H_{33(0)} = 150$ ед. Следовательно, $\sum_i H_{i3(0)} = 0 + 50 + 150 = 200$ ед., т. е. трудовой емкости района прибытия $j = 3$. Результаты расчета сведены в матрицу корреспонденций нулевой итерации (табл. 11.3).

Суммирование прибытий в матрице по районам прибытия (по строкам матрицы) дает 300, 500, 200 ед., т. е. трудовые емкости районов прибытия, а суммирование отправок по районам отправления (столбцам матрицы) — 507,143 и 492,857, т. е. цифры, отличающиеся от фактического расселения трудящихся в районах отправления, равного соответственно 400 и 600 ед. Таким образом, при расчете корреспонденций или корреспондирующего населения по прибытиям матрица корреспонденций оказывается согласованной только по прибытиям. Соответственно можно убедиться, что при расчете по отправлениям она будет согласована только по отправлениям. Нетрудно видеть, что получающиеся расхождения — следствие различия в функциях тяготения d_{ij} , т. е. разной трудности сообщения во внутрирайонных и межрайонных передвижениях трудящихся. Если бы для всех транспортных связей трудности сообщения были одинаковыми, то матрица корреспонденций сошлась и по прибытиям, и по отправлениям. В реальном же расчете с учетом неодинаковых функций тяготения максимальное количество отправок падает на районы, характеризующиеся максимальной функцией тяготения (минимальной трудностью сообщения с остальными), в нашем случае район 2, а минимальное — на районы, характеризующиеся максимальной трудностью сообщения, в нашем случае район 3. По расчету получается,

Таблица 11.3

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытий в районы j $\sum_i H_{ij}$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j :					
1	0	171,429	128,571	300,000	300,000
2	0	285,714	214,286	500,000	500,000
3	0	50,000	150,000	200,000	200,000
Сумма отправлений из районов i $\sum_j H_{ij} (0)$	0	507,143	492,857	1000,000	1000,000
Трудовая емкость районов отправления H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

что количество отправлений из района 2 превышает его трудовое население, а количество отправлений из района 3 меньше его трудового населения. Расчет показывает стремление населения к трудоустройству в районах, связанных с районами отправления минимальной трудностью сообщения (максимальной функцией тяготения). Однако такое трудоустройство практически невозможно и население вынуждено перераспределяться по районам трудового тяготения в полном соответствии с их реальными трудовыми емкостями.

Приведенный расчет показывает, что расчет трудовых корреспонденций в замкнутой системе, где количество отправлений строго соответствует количеству прибытий, по (11.39) и (11.40) в принципе неправилен. Результаты расчета не могут рассматриваться как корреспонденции. Они нуждаются в корректировке, которую проводят итерационным расчетом (методом последовательных приближений), в котором расчет по (11.39) и (11.40) при нормирующих множителях k_i и k_j , равных единице, представляет собой лишь первую процедуру.

При балансировке корреспонденций итерационным методом *Шацкого* нормирующие множители k_i и k_j на всех итерациях, кроме нулевой, вычисляют как отношения: при расчете по прибытиям

$$k_{i(n+1)} = H_i / \sum_j H_{ij(n)}; \quad (11.52)$$

при расчете по отправлениям

$$k_{j(n+1)} = H_j / \sum_i H_{ij(n)}. \quad (11.53)$$

где $k_{i(n+1)}$ и $k_{j(n+1)}$ — нормирующие множители на $n+1$ итерации; n — номер предыдущей итерации.

Балансировку ведут при заданной точности ε выравнивания матрицы корреспонденций до выполнения следующих условий (для всех i и j):

$$\left| 1 - H_i / \sum_j H_{ij} \right| \leq \varepsilon; \quad \left| 1 - H_j / \sum_i H_{ij} \right| \leq \varepsilon. \quad (11.54)$$

В нашем случае расчет ведется по прибытиям, поэтому матрица по прибытиям для всех районов согласована. Неувязка же по отправлениям составляет:

$$\begin{aligned} \text{для района 1} \quad & (\text{неопределенность раскрывается по смыслу}) \quad |1 - H_{i1} / \sum_i H_{ij(0)}| = \\ & = 1 - 0/0 = 0; \\ \text{для района 2} \quad & |1 - H_{i2} / \sum_i H_{ij(0)}| = 1 - 400/507,143 = 1 - 0,7887 = 0,2113(21,13\%) > \\ & > \varepsilon = 1\%; \\ \text{для района 3} \quad & |1 - H_{i3} / \sum_i H_{ij(0)}| = 1 - 600/492,857 = 1 - 1,2174 = 0,2174(21,74\%) > \\ & > \varepsilon = 1\%. \end{aligned}$$

Первая итерация. Нормирующие множители для первой итерации вычисляем по (11.52) для всех районов, кроме района 1, который не имеет отправлений:

$$k_{2(1)} = H_{i2} / \sum_i H_{ij(0)} = 400/507,143 = 0,7887;$$

$$k_{3(1)} = H_{i3} / \sum_i H_{ij(0)} = 600/492,857 = 1,2174.$$

Расчеты корреспонденций первой итерации выполняем по той же схеме, что и на нулевой:

$$k_{1(1)} = 0; \quad k_{2(1)} H_{i2} d_{21} = 0,7887 \cdot 400 \cdot 0,5 = 157,745;$$

$$k_{3(1)} H_{i3} d_{31} = 1,2174 \cdot 600 \cdot 0,25 = 182,069;$$

$$\theta_{(1)} = \sum_i^k k_{i(1)} H_i d_{ij} = 0 + 157,745 + 182,069 = 340,355.$$

Корреспонденции по прибытиям будут:

$$\begin{aligned} \text{в район } j=1 \quad & H_{11(1)} = 0; \quad H_{21(1)} = H_{j1} [k_{2(1)} H_{i2} d_{21} / \theta_{(1)}] = 300 (157,745 / 340,355) = \\ & = 139,043 \text{ ед.}; \quad H_{31(1)} = H_{j2} [k_{3(1)} H_{i3} d_{31} / \theta_{(1)}] = 300 (182,069 / 340,355) = 160,957 \text{ ед.} \end{aligned}$$

Следовательно, $H_{11(1)} = H_{11(1)} + H_{21(1)} + H_{31(1)} = 0 + 139,043 + 160,957 = 300,0 \text{ ед.};$

$$\text{в район } j=2 \quad H_{12(1)} = 0; \quad H_{22(1)} = 231,738 \text{ ед.}; \quad H_{32(1)} = 268,262 \text{ ед.}$$

Следовательно,

$$\sum_i H_{2i(1)} = 500 \text{ ед.};$$

$$\text{в район } j=3 \quad H_{13(1)} = 0; \quad H_{23(1)} = 35,521 \text{ ед.}; \quad H_{33(1)} = 164,479 \text{ ед.}$$

Следовательно, $\sum H_{3i(1)} = 200 \text{ ед.}$ Результаты расчета сводим в матрицу корреспонденций первой итерации (табл. 11.4).

Неувязки по отправлениям на первой итерации:

$$\begin{aligned} \text{для района 1} \quad & |1 - H_{i1} / \sum_i H_{ij(1)}| = 0; \\ \text{для района 2} \quad & |1 - H_{i2} / \sum_i H_{ij(1)}| = 1 - 400/406,302 = 1 - 0,9845 = 0,0155(1,55\%) > \\ & > \varepsilon = 1\%. \\ \text{для района 3} \quad & |1 - H_{i3} / \sum_i H_{ij(1)}| = 1 - 600/593,698 = 1 - 1,0106 = 0,0106(1,06\%) > \\ & > \varepsilon = 1\%. \end{aligned}$$

Приведенный расчет показывает, что итерационный процесс балансировки быстро сходится. Практически его можно закончить на первой итерации, но проведем еще одну итерацию.

Вторая итерация. Для нее нормирующие множители

$$k_{2(2)} = H_{i2} / \sum_i H_{ij(1)} = 400/406,302 = 0,9845;$$

$$k_{3(2)} = H_{i3} / \sum_i H_{ij(1)} = 600/593,698 = 1,0106.$$

Результаты расчета сводим в матрицу корреспонденций второй итерации (табл. 11.5). Неувязки по отправлениям на второй итерации:

$$\begin{aligned} \text{для района 1} \quad & |1 - H_{i1} / \sum_i H_{ij(2)}| = 0; \\ \text{для района 2} \quad & |1 - H_{i2} / \sum_i H_{ij(2)}| = 1 - 400/400,339 = 1 - 0,9992 = 0,0008(0,08\%) < \\ & < \varepsilon = 1\%. \end{aligned}$$

для района 3

$$\left| 1 - H_{13} / \sum_i H_{ij(2)} \right| = \left| 1 - 600 / 599,661 \right| = \left| 1 - 1,0006 \right| = 0,0006 (0,06\%) < \epsilon = 1\%.$$

Таблица 11.4

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытия в районы j $\sum_j H_{ij}$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j :					
1	0	139,043	160,957	300,000	300,000
2	0	231,738	268,262	500,000	500,000
3	0	35,521	164,479	200,000	200,000
Сумма отправок из районов $i \sum H_{ij(1)}$	0	406,302	593,698	1000,000	1000,000
Трудовая емкость районов отправок H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

Таблица 11.5

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытия в районы j $\sum_j H_{ij}$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j :					
1	0	137,091	162,909	300,000	300,000
2	0	228,485	271,515	500,000	500,000
3	0	34,763	165,237	200,000	200,000
Сумма отправок из районов $i \sum H_{ij(2)}$	0	400,339	599,661	1000,000	1000,000
Трудовая емкость районов отправок H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

После округления результатов расчета получаем окончательную матрицу корреспонденций (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытия в районы j $\sum_j H_{ij}$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j :					
1	0	137	163	300	300
2	0	228	272	500	500
3	0	35	165	200	200
Сумма отправок из районов i $\sum_i H_{ij}$	0	400	600	1000	1000
Трудовая емкость районов отправления H_i	0	400	600	1000	—

Замечательное свойство итерационной процедуры балансировки состоит в том, что ее можно использовать и для непосредственного расчета корреспонденций:

$$H_{ij(n+1)} = k_{i(n)} k_{j(n)} H_{ij(n)}, \quad (11.55)$$

где $H_{ij(n+1)}$ и $H_{ij(n)}$ — результаты расчета корреспонденций между районами i и j на $n+1$ и n итерациях; $k_{i(n)}$ и $k_{j(n)}$ — итерационные множители (коэффициенты корректуры), вычисленные по (11.52) и (11.53).

В качестве начального приближения $H_{ij(0)}$ принимают масштабированную величину функции тяготения:

$$H_{ij(n)} = d_{ij} \left(\sum_j H_j / \sum_i \sum_j d_{ij} \right). \quad (11.55)$$

Для нашего примера

$$\sum_i \sum_j d_{ij} = d_{21} + d_{22} + d_{23} + d_{31} + d_{32} + d_{33} = 0,5 + 1,0 + 0,5 + 0,25 + 0,5 + 1,0 = 3,75,$$

$$\text{следовательно, } \sum_j H_j / \sum_i \sum_j d_{ij} = (300 + 500 + 200) / 3,75 = 266,667.$$

По (11.55) корреспонденции нулевого приближения между районами: $H_{21(0)} = 0,5 \times 266,667 = 133,333$; $H_{22(0)} = 1,0 \cdot 266,667 = 266,667$; $H_{23(0)} = 0,5 \cdot 266,667 = 133,333$; $H_{31(0)} = 0,25 \cdot 266,667 = 66,667$; $H_{32(0)} = 0,5 \cdot 266,667 = 133,333$; $H_{33(0)} = 1,0 \cdot 266,667 = 266,667$.

Матрица корреспонденций нулевого приближения имеет вид (табл. 11.7).

Суммы прибытий в районы j получились равными 200, 400 и 400 ед., отличными от заданных емкостей прибытия, которые равны 300, 500 и 200 ед. Не совпадают с заданными и численные величины емкостей районов отправления. Следовательно, матрица корреспонденций требует балансировки и по строкам, и по столбцам.

Первая итерация. Проводим выравнивание корреспонденций по строкам матрицы (районам прибытия).

Таблица 11.7

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытия в районы j $\sum_j H_{ij}(0)$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j :					
1	0	133,333	66,667	200,000	300,000
2	0	266,667	133,333	400,000	500,000
3	0	133,333	266,667	400,000	200,000
Сумма отправлений из районов i $\sum_i H_{ij}(0)$	0	533,334	466,667	1000,000	1000,000
Трудовая емкость районов отправления H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

По (11.52) нормирующие множители для первой итерации

$$\text{для района } j=1 \quad k_{1(1)} = H_{j1} / \sum_i H_{ij}(0) = 300/200 = 1,5;$$

$$\text{для районов } j=2 \text{ и } j=3 \quad k_{2(1)} = 500/400 = 1,25, \quad k_{3(1)} = 200/400 = 0,5.$$

В результате первой итерации для районов $j=1, 2$ и 3 получаем корреспонденции: $H_{21(1)} = 133,33 \cdot 1,5 = 200,0$ ед.; $H_{31(1)} = 66,667 \cdot 1,5 = 100,0$ ед.; $H_{22(1)} = 266,667 \cdot 1,25 = 333,333$ ед.; $H_{32(1)} = 133,33 \cdot 1,25 = 166,667$ ед.; $H_{23(1)} = 133,333 \cdot 0,5 = 66,667$ ед.; $H_{33(1)} = 266,667 \cdot 0,5 = 133,333$ ед.

После умножения элементов матрицы по строкам на нормирующие множители, получаем матрицу (табл. 11.8).

Таблица 11.8

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытий в районы j $\sum_i H_{ij}(1)$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j :					
1	0	200,000	100,000	300,000	300,000
2	0	333,333	166,667	500,000	500,000
3	0	66,667	133,333	200,000	200,000
Сумма отправлений из районов i $\sum_i H_{ij}(1)$	0	600,000	400,000	1000,000	1000,000
Трудовая емкость районов отправления H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

В полученной матрице сбалансированы корреспонденции по прибытиям, но не сходятся по отправлениям. Для выравнивания матрицы по отправлениям находим нормирующие множители (11.52):

$$k_{2(1)} = H_{12} / \sum_i H_{ij(1)} = 400/600 = 0,6667; \quad k_{3(1)} = \\ = H_{13} / \sum_i H_{ij(1)} = 600/400 = 1,5.$$

После умножения элементов матрицы по столбцам на нормирующие множители, получаем матрицу (табл. 11.9).

Таблица 11.9

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытия в районы j $\sum_j H_{ij(1)}$	Трудовая емкость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы прибытия j:					
1	0	133,333	150,000	283,333	300,000
2	0	222,222	250,000	472,222	500,000
3	0	44,445	200,000	244,445	200,000
Сумма отправок из районов i $\sum_i H_{ij(1)}$	0	400,000	600,000	1000,000	1000,000
Трудовая емкость районов отправления H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

В полученной матрице сбалансированы корреспонденции по столбцам, но в результате итерационного процесса разошлась балансировка по строкам, причем невязка по районам прибытия превышает $\epsilon = 1\%$. Для района $j=1$, например,

$$\left| 1 - H_{j1} / \sum_i H_{ij} \right| = |1 - 300/283,333| = |1 - 1,0588| = 0,0588 (5,88\%) > \epsilon = 1\%.$$

Следовательно, итерационный процесс еще не сошелся и нужно переходить к следующей итерации.

Вторая итерация. Аналогично схеме первой итерации сделаем выравнивание корреспонденций сначала по строкам и затем по столбцам. Нормирующие множители для выравнивания матрицы по строкам:

$$k_{1(2)} = H_{12} / \sum_j H_{ij(1)} = 300/283,33 = 1,0588.$$

Аналогично $K_{2(2)} = 500/472,222 = 1,0588$; $K_{3(2)} = 200/244,445 = 0,8182$.

Умножая элементы матрицы первой итерации на найденные нормирующие множители, получаем матрицу (табл. 11.10).

Нормирующие множители для выравнивания полученной матрицы по столбцам:

$$k_{2(2)} = H_{12} / \sum_i H_{ij(2)} = 400/412,834 = 0,9689; \quad k_{3(2)} = H_{13} / \sum_i H_{ij(2)} = \\ = 600/587,166 = 1,0219.$$

Умножая элементы матрицы на найденные нормирующие множители, получаем матрицу (табл. 11.11).

Таблица 11.10

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытий в районы j $\sum H_{ij}(2)$	Трудовая ем- кость районов прибытия H_j
	1	2	3		
Районы при- бытия j :					
1	0	141,176	158,824	300,000	300,000
2	0	235,294	264,706	500,000	500,000
3	0	36,364	163,636	200,000	200,000
Сумма от- правлений из райо- нов i $\sum H_{ij}(2)$	0	412,834	587,166	1000,000	1000,000
Трудовая ем- кость районов отправления H_i	0	400,000	600,000	1000,000	—

Таблица 11.1

Показатели	Районы отправления i			Сумма прибытий в районы j $\sum H_{ij}(2)$	Трудовая емкость районов прибы- тия H_j
	1	2	3		
Районы при- бытия j :					
1	0	136,788	162,295	299,083	300,000
2	0	227,979	270,492	498,471	500,000
3	0	35,233	167,213	202,446	200,000
Сумма отправ- лений из райо- нов i $\sum H_{ij}(2)$	0	400,000	600,000	1000,000	1000,000
Трудовая ем- кость районов отправления H_i	0	400,000	600,000	1000,000	

В полученной матрице невязка по строкам превышает 1% только для района $j=3$ (составляет 1,223%). Итерационный процесс можно продолжать, но точность балансировки, полученная на второй итерации, уже достаточна.

Процедура балансировки как инструмент расчета корреспонденций используется в практике транспортных расчетов во всех тех случаях, когда естественное распределение корреспонденций по трудности сообщения ограничивается емкостью центров тяготения, в том числе и при расчетах корреспонденций по культурно-бытовым целям. В основном

же ее применяют для расчета трудовых корреспонденций. Культурно-бытовые корреспонденции правильнее рассчитывать в функции трудности сообщения. Получающаяся при этом невязка между заданными возможными отправлениями и их фактической реализацией в функции трудности сообщения рассматривается как результат естественного различия подвижности населения: в районах, имеющих хорошие транспортные связи с центрами культурно-бытового тяготения (небольшую трудность сообщения), подвижность населения выше, чем в районах, имеющих плохое транспортное обслуживание (высокую трудность сообщения с центрами тяготения).

§ 11.6. Распределение пассажиропотоков по транспортной сети

Наиболее сложным вопросом транспортного проектирования, вносящим основную долю неопределенности в транспортный расчет и определяющим основную долю ошибки расчета корреспонденций, является распределение пассажиропотоков по ТС. Ошибка распределения пассажиропотоков по ТС может достигать до 100% и более. Это связано с тем, что выбор пассажирами путей следования определяется рядом трудно учитываемых факторов.

На практике используют различные гипотезы распределения корреспонденций по ТС. Простейшая из них — распределение корреспонденций по кратчайшим путям следования, заданным дальностью передвижения или затратами времени в передвижении. Эта гипотеза дает однозначное распределение пассажиропотоков, но не учитывает их вероятностного характера, возможности выбора пассажирами различных путей следования по привлекательности, разных видов транспорта (при обслуживании направлений передвижения несколькими видами ГПТ), различной стоимости проезда и др. Более точные результаты дает гипотеза распределения пассажиропотоков по путям с минимальной трудностью передвижения и менее точные — по путям с минимальной дальностью передвижения.

Второй гипотезой можно назвать распределение пассажиропотоков на ТС по конкурирующим путям обратно пропорционально их протяженности или затратам времени в передвижениях. По этой гипотезе доля k_{Fi} общего пассажиропотока F , приходящаяся на i -й конкурирующий путь, характеризующийся дальностью передвижения l_i или трудностью сообщения t_i , будет:

$$k_{Fi} = F_i/F = (1 - l_i / \sum_{i=1}^k l_i) / (k - 1);$$

или

$$k_{Fi} = F_i/F = (1 - t_i / \sum_{i=1}^k t_i) / (k - 1), \quad (11.57)$$

где k — количество конкурирующих путей следования.

Путь следования с минимальной затратой транспортного времени $t = t_{\min}$ называют *критическим*. Пусть, например, из четырех возможных путей следования критический характеризуется затратой времени

$t_1 = t_{\min} = 30$ мин, а второй, третий и четвертый соответственно $t_2 = 1,1 \times t_{\min} = 33$ мин; $t_3 = 1,5 t_{\min} = 45$ мин и $t_4 = 2 t_{\min} = 60$ мин. В этом случае по (11.57) найдем $k_{11} = 0,274$; $k_{12} = 0,268$; $k_{13} = 0,244$ и $k_{14} = 0,214$. Если принять пассажиропоток критического пути за единицу, то по отношению к нему пассажиропотоки на конкурирующих путях будут отличаться всего на 2, 12 и 28%, в то время как различия во времени следования по ним в сравнении с критическим составляют соответственно 10, 50 и 100%. Натурные обследования показывают, что гипотеза, выражаемая уравнением (11.57), дает заниженные результаты неравномерности распределения пассажиропотоков по сети в функции затрат транспортного времени. Кроме того, объем расчетов, связанных с этой расчетной процедурой, требует весьма больших объемов памяти ЭВМ, так как ею не учитываются вероятные пути следования, а полное формализованное количество возможных путей следования между любой парой гонок в реальных ТС весьма велико.

Близка к (11.57) модель распределения пассажиропотоков по конкурирующим путям «методом сопротивлений», по которому вероятность P_i выбора i -го пути передвижения определяется по аналогии с распределением электрического тока в параллельных ветвях:

$$P_i = (1/R_i)^a / \sum_j (1/R_j)^a, \quad (11.58)$$

где $R_i = bt_i + l_i$ — функция «сопротивления» i -го пути; t_i — время передвижения по нему; l_i — расстояние передвижения; a и b — параметры, определяемые по статистическим данным.

Модель (11.58) требует «калибровки» по материалам натурных обследований пассажироперевозок.

Недостаток математических расчетов по гипотезам (11.57) и (11.58) с использованием ЭВМ состоит в их большой трудоемкости. Поэтому реальные расчеты распределения пассажиропотоков по конкурирующим путям проводят в некоторой области отклонений $\Delta t = t_i - t_{\min}$, которую называют «областью сглаживания». Величину Δt задают в абсолютных значениях времени (мин) или в долях критического времени $t_{\min}$. Из множества возможных путей следования между рассматриваемыми точками ТС она выделяет только те, на которых колебания затрат времени t_i лежат в области сглаживания. Принимают, что вероятность использования каждого из k путей следования, лежащих в области сглаживания, определяется затратами времени движения по нему и характеристиками «привлекательности», оценивающими условия движения — наполнение поездов, частоту движения, регулярность и др. Если привлекательности r участков, составляющих рассматриваемый путь, различны, то его «приведенная» привлекательность

$$P = \sum_r P_r l_r / \sum_r l_r, \quad (11.59)$$

где P_r — привлекательность участка r , имеющего длину l_r , оцениваемая некоторыми коэффициентами.

Вероятность выбора пассажирами i -го пути по привлекательности и затратам времени на передвижения оценивают коэффициентами

$$\rho_{i\pi} = \Pi_i / \sum_{i=1}^k \Pi_i; \quad \rho_{it} = [(t_{\min} + \Delta t) - t_i] / \sum_{i=1}^k [(t_{\min} + \Delta t) - t_i], \quad (11.60)$$

где $t_{\min} + \Delta t$ — принятая область сглаживания; t_i — время движения по i -му пути; k — количество путей следования, лежащих в области сглаживания.

Аналогичными коэффициентами могут быть учтены и другие условия движения на участках транспортной сети — наполняемость подвижного состава, частота движения и др. Коэффициент ρ_{it} по [14] рекомендуют определять с учетом вместимости поездов m_i , частоты движения n_i поездов по конкурирующим направлениям движения и затрат времени на пересадки:

$$\rho_{it} = \frac{m_i n_i \{[(t_{\min} + \Delta t) + k_{\text{пер. мин}} t_{\text{пер}}] - (t_i + k_{\text{пер}i} t_{\text{пер}})\}}{\sum_{i=1}^k m_i n_i \{[(t_{\min} + \Delta t) + k_{\text{пер. мин}} t_{\text{пер}}] - (t_i + k_{\text{пер}i} t_{\text{пер}})\}}, \quad (11.61)$$

где $k_{\text{пер. мин}}$ и $k_{\text{пер}i}$ — количество пересадок соответственно на критическом и i -м конкурирующем пути следования; $t_{\text{пер}}$ — затраты времени на одну пересадку (принимают для всех пересадок одинаковыми или дифференцированными по видам транспорта).

В освоении пассажиропотока комплексный коэффициент участия i -го пути

$$k_{Fi} = F_i / F = (A + B \rho_{it} \rho_{i\pi}) / \sum_{i=1}^k (A + B \rho_{it} \rho_{i\pi}), \quad (11.62)$$

где A и B — эмпирические коэффициенты.

Гипотезу (11.62) распределения пассажиропотоков по конкурирующим путям называют «алгоритмом стока» [6]. При реализации на ЭВМ из нее вытекают как частные и могут быть использованы:

равновероятное распределение корреспонденций по конкурирующим путям в области сглаживания (при $A \gg B$, например, $A = 1000$ и $B = 1$). Для этого случая

$$k_{Fi} = A / \sum_{i=1}^k A = 1/k; \quad (11.63)$$

распределение корреспонденций по всем кратчайшим (критическим) путям с минимальными затратами времени $t_{\min}$, если имеется несколько таких путей. В этом случае принимают $B = 0$ и $\Delta t = 0$;

распределение корреспонденций на один (выбранный первым) критический путь с минимальной затратой времени $t_{\min}$ (при $B < 0$);

распределение корреспонденций по конкурирующим путям в области сглаживания по затратам времени на передвижения в предположении равной привлекательности конкурирующих путей (при $\rho_{i\pi} = 1$):

$$k_{Fi} = (A + B \rho_{it}) / \sum_{i=1}^k (A + B \rho_{it}); \quad (11.64)$$

распределение корреспонденций по конкурирующим путям в области сглаживания по привлекательности в предположении независимости их от затрат времени на передвижения (при $\rho_{ii} = 1$):

$$k_{Fi} = (A + B\rho_{ii}) / \sum_k (A + B\rho_{ik}). \quad (11.65)$$

Привлекательность путей следования оценивают долевыми коэффициентами, принимаемыми на основании расчетов или практики проектирования. Привлекательность путей может учитывать самые различные условия движения. В [6] принимают коэффициенты привлекательности для уличного транспорта — 10, скоростного трамвая — 15, метрополитена — 25, пешеходных передвижений населения — 2, пересадок на МПТ — 1. Это означает, что скоростной трамвай предпочтительнее обычного уличного транспорта для населения в $15/10 = 1,5$ раза, метрополитен в $25/10 = 2,5$ раза, а пешеходное передвижение по сравнению с передвижением на уличном транспорте менее предпочтительно в $10/2 = 5$ раз.

§ 11.7. Поиск кратчайших путей на графе транспортной сети

Задачи распределения пассажиропотоков на ТС связаны с поиском кратчайших путей между центрами транспортного тяготения методами теории графов.

Графом $G(R, U)$ транспортной сети называют совокупность ее узлов R и соединяющих их дуг U . За вершины графа принимают центры транспортных районов и других объектов массового тяготения населения, а дугами изображают участки улично-дорожной сети, пути пешеходного подхода к остановочным пунктам МПТ и ИПТ, не связанные с улично-дорожной сетью участки внеуличных городских путей сообщения, а также пересадки с одного вида ГПТ на другой. Дуги, допускающие движение только в одном направлении, называют *ориентированными*, а граф, состоящий из таких дуг, — *ориентированным графом*. Дуги, допускающие движение в обоих направлениях, называют *неориентированными*, а составленный из них граф — *неориентированным*. В общем случае ТС включает в себя и ориентированные, и неориентированные дуги. Такой граф называют *смешанным*. Совокупность путей, связывающих вершину (узел) R со всеми остальными, называют *деревом графа*.

Для поиска кратчайших путей на заданном графе $G(R, U)$ используют итерационные алгоритмы поэтапного наращивания и коррекции дерева кратчайших путей, найденного на предыдущей итерации. Предложен ряд таких алгоритмов — алгоритмы Минти, Мура, Форда-Фалькерсона и др. В алгоритме Минти и его модификациях дерево кратчайших путей находят методом последовательного наращивания. На каждой последующей итерации к части дерева кратчайших путей, полученного на предыдущей итерации, добавляется одна дуга, т. е. находят кратчайший путь до очередной вершины. Построенная на начальных итерациях часть дерева кратчайших путей на последующих итерациях не меняется. Задача решается за $R-1$ итерацию. Алгоритм позволяет находить кратчайшие пути от заданной вершины до всех остальных или только части вершин графа.

Более эффективны, однако, алгоритмы Форда-Фалькерсона, Мура и др., в которых построенные деревья могут многократно корректироваться на последующих итерациях. Все они основаны на методе потенциалов. Исходной вершине, к которой находят кратчайшие пути из всех остальных вершин графа, присваивают потенциал $\Pi = 0$, остальным — некоторый заведомо большой потенциал M . Потенциал может численно определять расстояние корреспонденций между рассматриваемыми вершинами i и j , время сообщения между ними при движении пешком или на рассматриваемом виде транспорта, стоимость проезда или другую характеристику a_{ij} ветви между вершинами i и j . Задача заключается в «просмотре» всех вершин графа с целью понижения потенциалов соседствующих и считается оконченной, когда все вершины графа получают минимальные потенциалы.

«Просмотром вершины i » на итерации q называют вычисление потенциалов Π_{jq} соседствующих с ней вершин j как суммы потенциала Π_{iq} рассматриваемой вершины i и потенциалов a_{ij} ветвей соседствующих с ней вершин j :

$$\Pi_{jq} = \Pi_{iq} + a_{ij}. \quad (11.66)$$

Если вычисленный потенциал Π_{jq} меньше потенциала $\Pi_{j(q-1)}$, присвоенного вершине j на предыдущей итерации $q-1$, т. е. выполняется условие $\Pi_{jq} < \Pi_{j(q-1)}$, то потенциал вершины j понижается до Π_{jq} , если же $\Pi_{jq} \geq \Pi_{j(q-1)}$, то за вершиной j остается ее прежний потенциал $\Pi_{j(q-1)}$:

$$\begin{aligned} \text{если } \Pi_{jq} < \Pi_{j(q-1)}, \text{ то } \Pi_j &= \Pi_{jq}, \\ \text{если } \Pi_{jq} \geq \Pi_{j(q-1)}, \text{ то } \Pi_j &= \Pi_{j(q-1)}. \end{aligned} \quad (11.67)$$

В результате просмотра вершин на каждой итерации потенциалы части вершин графа понижаются. Итерационный процесс продолжается до тех пор, пока на графе не останется ни одной вершины, потенциал которой можно понизить. Полученные в результате этого процесса потенциалы вершин представляют собой минимальные потенциалы относительно центра построения (начальной вершины), т. е. кратчайшие расстояния от нее, минимальные затраты времени на передвижение и т. д.

Итерационные алгоритмы различаются порядком просмотра вершин, который определяет затраты времени на решение задачи. Вершины просматривают в порядке возрастания или убывания их номеров (алгоритмы Форда-Фалькерсона) или попеременно в порядке возрастания и убывания (алгоритм «метла», разработанный Институтом кибернетики АН УССР). При машинной реализации более эффективными по критерию затрат времени на решение задачи являются алгоритмы попеременного просмотра вершин.

В качестве примера рассмотрим поиск кратчайших путей на графе рис. 11.10, а методом Форда. За исходную вершину графа, по отношению к которой определяются кратчайшие пути из остальных вершин, примем узел I , за потенциалы a_{ij} ветвей — расстояния между соответствующими узлами, показанные цифрами над ветвями. Для уменьшения объема вычислений операции поиска потенциалов будем проводить вначале

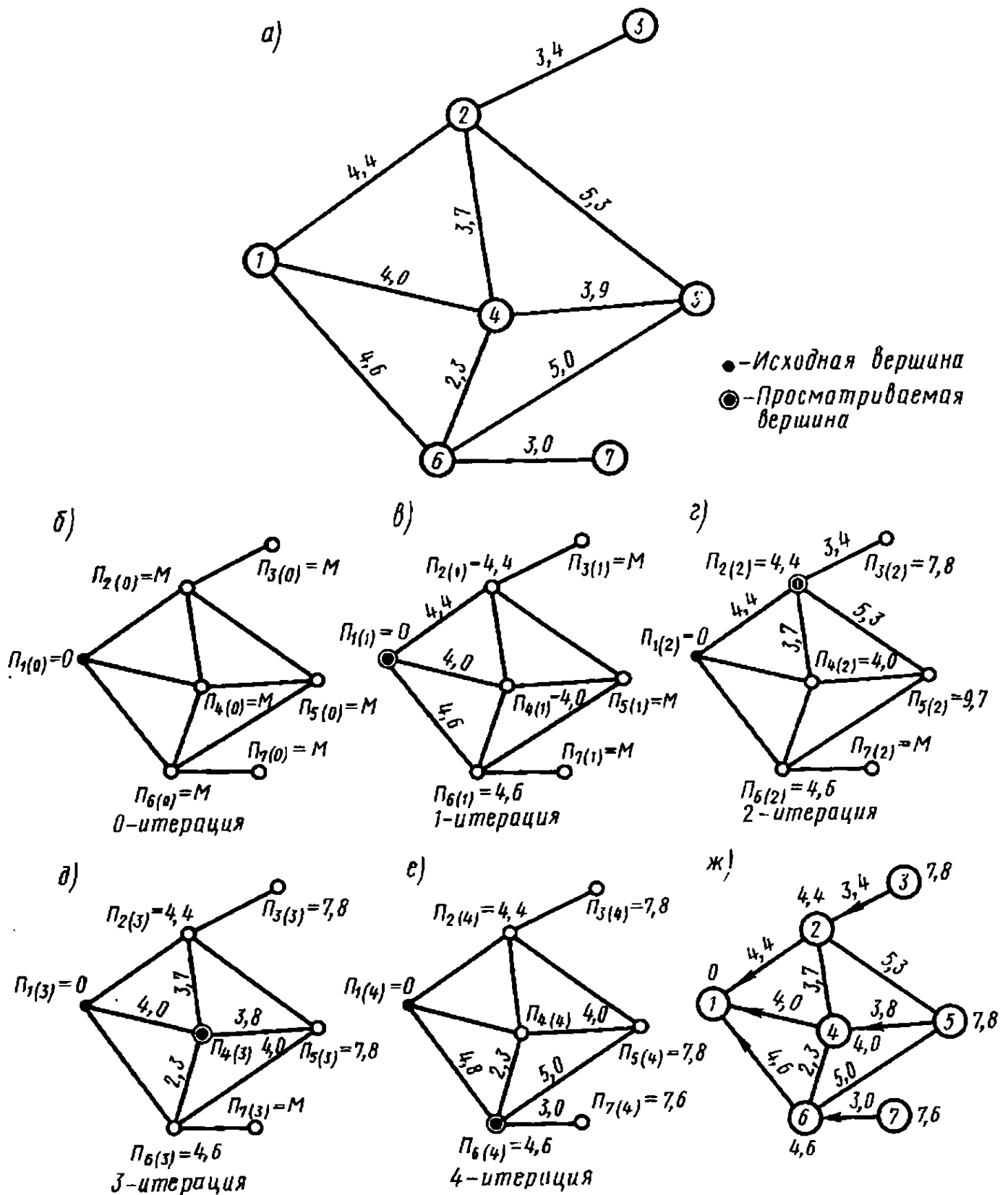


Рис. 11.10

Итерации поиска кратчайших путей на графе ТС методом потенциалов:

а — исходный граф; б—е — итерации поиска кратчайших путей до вершины l . ж — конечный граф кратчайших путей

для узлов, смежных с исходной вершиной 1, а затем для узлов, смежных с рассмотренными ранее.

Шаг 1 (нулевая итерация). Присваиваем исходному узлу 1 потенциал $\Pi_{1(0)} = 0$ (в индексе цифра 1 означает номер узла, 0 — номер итерации), остальным узлам j — потенциалы $\Pi_{j(0)} = M$ (рис. 11.10, б).

Шаг 2 (первая итерация). Просматриваем вершину 1 и проверяем возможности понижения потенциалов смежных с ней узлов. Смежными с вершиной 1 являются узлы 2, 4 и 6. Находим их потенциалы $\Pi_{j(1)}$ по (11.66) и сравниваем с потенциалами $\Pi_{j(0)}$, принятыми на предыдущей итерации. При $\Pi_{j(1)} < \Pi_{j(0)}$ в соответствии с (11.67) присваиваем узлу j потенциал $\Pi_{j(1)}$, а при $\Pi_{j(1)} \geq \Pi_{j(0)}$ оставляем за узлом j потенциал $\Pi_{j(0)}$. В результате получаем $\Pi_{2(1)} = \Pi_{1(0)} + a_{12} = 0 + 4,4 = 4,4 < \Pi_{2(0)} = M$. В соответствии с (11.67) присваиваем узлу 2 потенциал $\Pi_{2(1)} = 4,4$.

Аналогично $\Pi_{4(1)} = \Pi_{1(0)} + a_{14} = 0 + 4,0 = 4,0 < \Pi_{4(0)} = M$. Присваиваем узлу 4 потенциал $\Pi_{4(1)} = 4,0$. Так же $\Pi_{6(1)} = \Pi_{1(0)} + a_{16} = 0 + 4,6 = 4,6 < \Pi_{6(0)} = M$. Присваиваем узлу 6 потенциал $\Pi_{6(1)} = 4,6$.

Потенциалы остальных вершин оставляем прежними (рис. 11.10, в).

В результате выполнения шага 2 просмотрены не все вершины графа (остались вершины с потенциалом M), поэтому итерационный процесс продолжаем.

Шаг 3 (вторая итерация). Просматриваем вершину 2, смежную с исходной вершиной 1. Смежными с вершиной 2 являются узлы 3, 5, 4 и 1. Однако вершину 1 просматривать не нужно, так как она имеет нулевой потенциал, который понизить нельзя (вершина не может иметь отрицательный потенциал). Определяем потенциалы остальных вершин, примыкающих к просматриваемой 2:

$\Pi_{3(2)} = \Pi_{2(1)} + a_{23} = 4,4 + 3,4 = 7,8 < \Pi_{3(1)} = M$. В соответствии с (11.67) присваиваем узлу 3 новый потенциал $\Pi_{3(2)} = 7,8$;

$\Pi_{5(2)} = \Pi_{2(1)} + a_{25} = 4,4 + 5,3 = 9,7 < \Pi_{5(1)} = M$. Присваиваем узлу 5 потенциал $\Pi_{5(2)} = 9,7$;

$\Pi_{4(2)} = \Pi_{2(1)} + a_{24} = 4,4 + 3,7 = 8,1 < \Pi_{4(1)} = 4,0$. Оставляем за узлом 4 потенциал $\Pi_{4(1)} = 4,0$.

Потенциалы остальных вершин оставляем прежними (рис. 11.10, г).

В результате выполнения итерации еще остались непросмотренные вершины с потенциалом M . Поэтому итерационный процесс продолжаем.

Шаг 4 (третья итерация). Просматриваем вершину 4, смежную с уже просмотренными, и проверяем возможность понижения потенциалов смежных с нею узлов. Ими являются узлы 1, 2, 5 и 6. Потенциал узла 1 понизить заведомо нельзя. Поэтому его, как и на шаге 3, не рассматриваем. Для остальных узлов получаем:

$$\Pi_{2(3)} = \Pi_{4(2)} + a_{42} = 4,0 + 3,7 = 7,7 > \Pi_{2(2)} = 4,4.$$

Оставляем за узлом 2 потенциал $\Pi_{2(2)} = 4,4$;

$\Pi_{5(3)} = \Pi_{4(2)} + a_{45} = 4,0 + 3,8 = 7,8 < \Pi_{5(2)} = 9,7$. Присваиваем узлу 5 потенциал $\Pi_{5(3)} = 7,8$;

$\Pi_{6(3)} = \Pi_{4(2)} + a_{46} = 4,0 + 2,3 = 6,3 > \Pi_{6(2)} = 4,6$. Оставляем за узлом 6 потенциал $\Pi_{6(2)} = 4,6$.

Потенциалы остальных узлов оставляем прежними (рис. 11.10, д).

После выполнения итерации еще осталась вершина 7 с потенциалом M . Поэтому итерационный процесс продолжаем.

Шаг 5 (четвертая итерация). Просматриваем вершину 6, смежную с уже просмотренными и оставшейся не просмотренной 7. Смежными с вершиной 6 являются 1, 4, 5 и 7. Просмотрим их все, кроме вершины 1:

$P_{4(4)} = P_{6(3)} + a_{46} = 4,6 + 2,3 = 6,9 > P_{4(3)} = 4,0$. Оставляем за вершиной 4 потенциал $P_{4(3)} = 4,0$.

$P_{5(4)} = P_{6(3)} + a_{56} = 4,6 + 5,0 = 9,6 > P_{5(3)} = 7,8$. Оставляем за вершиной 5 потенциал $P_{5(3)} = 7,8$.

$P_{7(4)} = P_{6(3)} + a_{67} = 4,6 + 3,0 = 7,6 < P_{7(3)} = M$. Присваиваем вершине 7 новый потенциал $P_{7(4)} = 7,6$.

После выяснения шага 5 новые потенциалы получили все узлы графа. Все потенциалы являются минимальными, так как понизить их больше нельзя. Чтобы убедиться в этом, следует заново выполнить операции просмотра всех узлов в любом порядке по критерию (11.65). При этом для всех смежных узлов получаем $P_{j(k+1)} > P_{jk}$, где k — номер конечной итерации, в нашем случае 4. Например, для узла 2 относительно узла 5:

$P_{2(5)} = P_{5(4)} + a_{52} = 7,8 + 5,3 = 13,1 > 7,8$. Следовательно, потенциал узла 2 остается прежним.

Полученные потенциалы являются кратчайшими расстояниями соответствующих вершин до исходного узла 1. Аналогично определяются кратчайшие расстояния до любого узла, взятого за исходный. Сам кратчайший путь от фиксированного узла j до исходного k (последовательность узлов или вершин, составляющих этот путь) алгоритм Форда не определяет. Для отыскания этого пути можно воспользоваться потенциальным условием

$$P_j - P_i = a_{ij}, \quad (11.68)$$

которое должно выполняться для кратчайшего пути. Просматривая по этому условию, например, вершину 5, устанавливаем, что оно выполняется только на пути к узлу 4. Следовательно, кратчайший путь из узла 5 в узел 1 проходит по ветви 5—4. Далее аналогично просматриваем вершину 4 и убеждаемся, что условие (11.68) соблюдается только на ветви 4—1. Следовательно, кратчайший путь из вершины 5 в вершину 1 проходит по ветвям 5—4 и 4—1. Аналогично отыскиваем кратчайшие пути в исходную вершину 1 из всех других. Конечные потенциалы вершин и кратчайшие пути следования из них в исходную 1 графа (рис. 11.10, а) показаны на рис. 11.10, ж.

Рассмотренный ручной метод счета может быть использован на графах небольших размеров. Для графов большой размерности составляют программы расчета на ЭВМ.

§ 11.8. Расчет пассажиропотоков с учетом динамики формирования во времени

Характерной особенностью пассажиропотоков, связанной с физиологическим циклом и социологическим аспектом жизнедеятельности человека, является значительное колебание во времени (по часам суток,

дням недели, месяцам и сезонам года) и по направлениям транспортной сети (маршрутам и направлениям маршрутов).

В качестве примеров на рис. 11.11 показаны кривые изменения пассажироперевозок во времени на Московском метрополитене. Для колебаний пассажироперевозок по часам суток (рис. 11.11, а) характерно резкое возрастание их в утренние часы с 7 до 9 ч и вечерние часы с 17 до 19 ч, которые называют часами максимальной нагрузки или часамн пик. Коэффициент часовой неравномерности пассажироперевозок $k_{ч.п}$ определяют отношением пассажироперевозок максимального часа пик $A_{ч.п}$ к суточному $A_{сут}$ или среднечасовому $A_{с.ч}$ за сутки:

$$k_{ч.п} = A_{ч.п}/A_{сут} \text{ или } k_{ч.п} = A_{ч.п}/A_{с.ч}, \quad (11.69)$$

где $A_{с.ч} = A_{сут}/T_{дв}$, $A_{сут}$ — суточный объем пассажироперевозок; $T_{дв}$ — продолжительность периода движения (на Московском метрополитене 19 ч — с 6 ч утра до 1 ч ночи).

На рис. 11.11, а показаны суточные колебания пассажироперевозок по одной из станций Московского метрополитена. В среднем по Московскому метрополитену максимальная нагрузка приходится на утренний час пик с 8 до 9 ч, составляющая в среднем около 10%, а по ряду линий до 12% и даже 13% среднесуточного объема пассажироперевозок. Такой же порядок цифр имеет коэффициент $k_{ч.п}$ и для наземного МПТ. В отдельных случаях, как показано, например, на рис. 11.11, а, может преобладать вечерний пик пассажироперевозок. В среднем по Московскому метрополитену коэффициент часовой неравномерности пассажироперевозок $k_{ч.п} = 1,9$. Это означает, что напряженность пассажироперевозок в лимитирующий (максимальный) час пик почти вдвое превышает среднечасовую. В общем же случае она существенно зависит от характеристик транспортной системы, состава пассажироперевозок и других факторов.

Большие колебания пассажироперевозок характерны и для внутричасовых периодов. На рис. 11.11, б показаны внутричасовые колебания пассажирооборота одной из станций метрополитена по пятиминутным интервалам в утренний час пик. Кривая 1 изображает колебания пассажирооборота посадки, кривая 2 — высадки пассажиров. Внутричасовую неравномерность пассажироперевозок оценивают коэффициентом внутричасовой неравномерности $k_{вч.п}$ — отношением пассажироперевозок в максимальный пятиминутный $A_{5\max}$ или другой интервал времени к среднечасовым:

$$k_{вч.п} = (A_{5\max}/A_{с.ч}) \cdot (60/5) = 12A_{5\max}/A_{с.ч} \quad (11.70)$$

Коэффициент $k_{вч.п}$ может достигать величины порядка двух и более. В Москве для наземного МПТ коэффициент внутричасовой неравномерности составляет 1,22—1,27 с колебаниями на отдельных маршрутах 1,1—1,4. Внутричасовая неравномерность пассажироперевозок приводит к колебаниям использования вместимости подвижного состава, которые учитывают коэффициентом внутричасового колебания наполнения $k_{вч.н}$ — отношением максимального 15-минутного наполнения вагонов $m_{15\max}$ к среднечасовому $m_{сч}$:

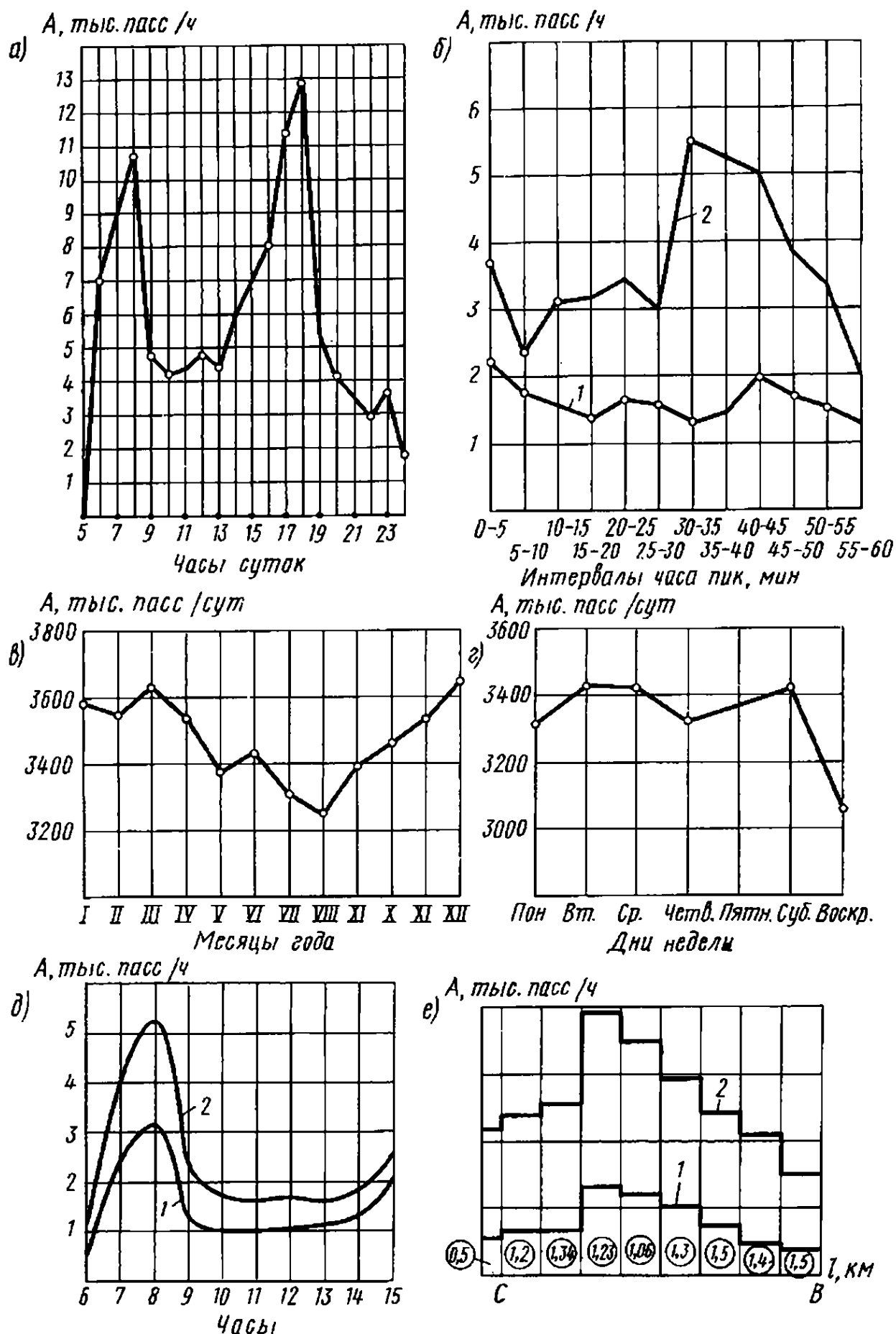


Рис. 11.11

Примеры динамики пассажиропотоков на Московском метрополитене

$$k_{вч.н} = m_{15\max}/m_{с.ч.} \quad (11.71)$$

На некоторых линиях метрополитена в утренние часы пик коэффициент $k_{вч.н} = 1,4$.

Колебания пассажироперевозок по месяцам года связано в основном с отпусками трудящихся и учащихся. Поэтому наименьшие пассажироперевозки характерны для летних месяцев (июль и август), а максимальные для зимних (ноябрь и декабрь). Колебания пассажироперевозок на Московском метрополитене по месяцам года показаны на рис. 11.11, в, их оценивают коэффициентом месячной неравномерности $k_{н.мес}$, определяемым отношением максимальных месячных пассажироперевозок $A_{мес. макс}$ к среднемесячным за год $A_{мес. ср}$:

$$k_{н.мес} = A_{мес. макс}/A_{мес. ср} \quad (11.72)$$

где $A_{мес. макс}$ — пассажироперевозки в месяц максимальной нагрузки, приведенные к среднемесячному числу дней $k_{мес. ср}$. Среднемесячное число дней $k_{мес. ср} = 365/12 = 30,4$. Если число дней в месяце максимальных пассажироперевозок равно $k_{мес. макс}$, то:

$$\begin{aligned} k_{н.мес} &= (A_{мес. макс}/k_{мес. макс})/(A_{мес. ср}/k_{мес. ср}) = \\ &= (A_{мес. макс}/A_{мес. ср})(k_{мес. ср}/k_{мес. макс}) = \\ &= (A_{мес. макс}/A_r)(365/k_{мес. макс}). \end{aligned} \quad (11.73)$$

Коэффициент $k_{н.мес} — 1,05 \div 1,15$; в качестве расчетного значения обычно принимают $k_{н.мес} = 1,1$.

На рис. 11.11, г показан характер изменения пассажироперевозок на линиях метрополитена по дням недели. В рабочие дни недели пассажироперевозки примерно одинаковы, наибольшие наблюдаются по вторникам, средам и субботам. Перевозки воскресного дня меньше среднесуточных на 10—13%. Неравномерность пассажироперевозок по дням недели учитывают коэффициентами неравномерности: отношением количества перевезенных пассажиров рабочего дня максимальных перевозок $A_{р. макс}$ к среднесуточным перевозкам рабочих дней $A_{р. ср}$ ($k_{н.р}$ — коэффициент недельной неравномерности пассажироперевозок в рабочие дни), пассажироперевозок воскресного дня $A_{в.д}$ к $A_{р. ср}$ ($k_{в.д}$ — коэффициент пассажироперевозок воскресного дня), пассажироперевозок суббота дня $A_{с.д}$ к $A_{р. ср}$ ($k_{с.д}$ — коэффициент пассажироперевозок суббота дня):

$$k_{н.р} = A_{р. макс}/A_{р. ср}; \quad k_{в.д} = A_{в.д}/A_{р. ср}; \quad k_{с.д} = A_{с.д}/A_{р. ср}. \quad (11.74)$$

Аналогично оценивают изменения пассажироперевозок в праздничные дни.

Наконец, на рис. 11.11, д показаны данные натурных обследований колебаний пассажирской нагрузки по направлениям транспортной сети во времени (по одной из станции метрополитена), а на рис. 11.11, е — по направлениям и перегонам транспортной линии С—В. Кривые 1 и 2 относятся к противоположным направлениям движения. Неравномерность распределения пассажиров по длине маршрутов учитывают коэф-

коэффициентом $k_{д.м.}$, представляющим собой отношение максимального пассажиропотока $F_{\max}$ к среднему $F_{ср.}$, а неравномерность по направлениям — коэффициентом $k_{н.н.}$ — отношением часового пассажирооборота более нагруженного направления $Q_{\max}$ к среднему пассажирообороту обоих направлений $Q_{ср.} = 0,5 (Q_1 + Q_2)$, где Q_1 и Q_2 — пассажирооборот обоих направлений движения:

$$k_{д.м.} = F_{\max}/F_{ср.}; \quad k_{н.н.} = Q_{\max}/Q_{ср.}$$

Для маршрутов наземного МПТ в часы пик коэффициент неравномерности пассажиропотока по направлениям $k_{н.н.} = 1,5 \div 1,75$ и коэффициент неравномерности пассажиропотока по длине маршрутов $k_{д.м.} = 1,13 \div 2,3$ (среднее значение по городам $k_{д.м.} = 1,54$). В результате таких больших колебаний затрудняется обеспечение пассажироперевозок подвижным составом, снижается его коэффициент использования по наполнению и ухудшаются качественные характеристики пассажироперевозок. Поэтому учет динамики формирования пассажиропотоков во времени представляет собой одну из главных задач транспортных расчетов. Особое значение имеет обеспечение пассажироперевозок в часы пик — часы максимальной нагрузки ТС, требующих увеличения выпуска подвижного состава на линию.

Расчет пассажироперевозок методом взаимных корреспонденций транспортных районов позволяет установить величину средних годовых пассажиропотоков на всех участках транспортной сети: $Q_i = F_i l_i$, откуда $F_i = Q_i / l_i$, где Q_i — годовой пассажирооборот i -го участка ТС длиной l_i , пасс-км/год; F_i — средний годовой пассажиропоток этого участка, пасс-км/(км · год).

Расчет пассажироперевозок методами укрупненных расчетов не дает даже и этого (определяет только средний годовой пассажиропоток по всей сети): $Q_i = \sum F_i l_i = F_i L_c$, откуда $F_i = Q_i / L_c$, где Q_i — годовой пассажирооборот ТС, пасс-км/год; L_c — ее длина, км; F_i — средний годовой пассажиропоток, пасс-км/(км · год).

По среднему годовому пассажиропотоку могут быть определены среднесуточный $F_{ср.с.}$ и среднечасовой $F_{ср.ч.}$:

$$F_{ср.с.} = F_i / 365; \quad F_{ср.ч.} = F_i / (365h),$$

где $h = ВЧ/В \approx 14$ ч — среднесуточное число часов работы единицы подвижного состава на линии: $ВЧ$ — годовые вагоно-часы; $В$ — годовой выпуск (вагоно-дни) работы подвижного состава на линии.

При расчете по средним годовым данным точный учет колебаний пассажиропотоков во времени по участкам и направлениям ТС невозможен. В этом случае расчетный пассажиропоток в час пик $F_{ч.п.}$ определяют по среднесуточному с учетом коэффициента часовой неравномерности $k_{ч.п.}$:

$$F_{ч.п.} = k_{ч.п.} F_{ср.с.} = k_{ч.п.} F_i / 365.$$

Для наземных видов МПТ в транспортных расчетах $k_{ч.п.} = 0,1$. Естественно, что эта цифра весьма ориентировочна, так как колебания пассажиропотоков во времени в разных транспортных сетях различны.

Они зависят от социальной структуры пассажироперевозок, характеристик ТС и маршрутной системы, раздвижки во времени начала и окончания работы градообразующих предприятий и ряда других факторов. Поэтому важное значение имеет расчет колебаний пассажиропотоков по часам суток, а в часы пик и по более коротким промежуткам времени в 30, 15, 10 мин. Возможность таких расчетов обеспечивает современная вычислительная техника, причем необходимым условием их проведения является знание точного времени начала и окончания работы всех предприятий города, занятого в них трудящегося населения по сменам и статистических законов распределения запасов времени прибытия пассажиров в пункты назначения. Необходимо также знать ТС и распределение на ней корреспонденций, которое само по себе может быть функцией времени. При прочих равных условиях распределение транспортной нагрузки по участкам ТС зависит от времени совершения передвижений, запасов времени прибытия пассажиров к местам назначения, используемых видов транспорта и скорости сообщения. Поэтому изучение динамики образования пассажиропотоков во времени по длине ТС требует исследования статистики запасов времени прибытия пассажиров к местам назначения, зависимости их и коэффициента пользования транспортом от времени, пересадочности, скорости сообщения и др.

Прибытия трудящихся на предприятия распределены в некотором интервале времени. Пусть ΔT — интересующий нас элемент этого интервала, например час пик или некоторый промежуток часа пик (рис. 11.12, а). Точки $t_1, t_2, \dots, t_6$ этого интервала — моменты начала работы предприятий, $A_j(t)$ — законы распределения прибытий трудящихся на предприятия (в общем случае различные для разных предприятий). Данные обследований показывают, что функция $A_j(t)$ чаще всего выражается экспоненциальной зависимостью $A_j(t) = A_{0j} e^{-at}$, где

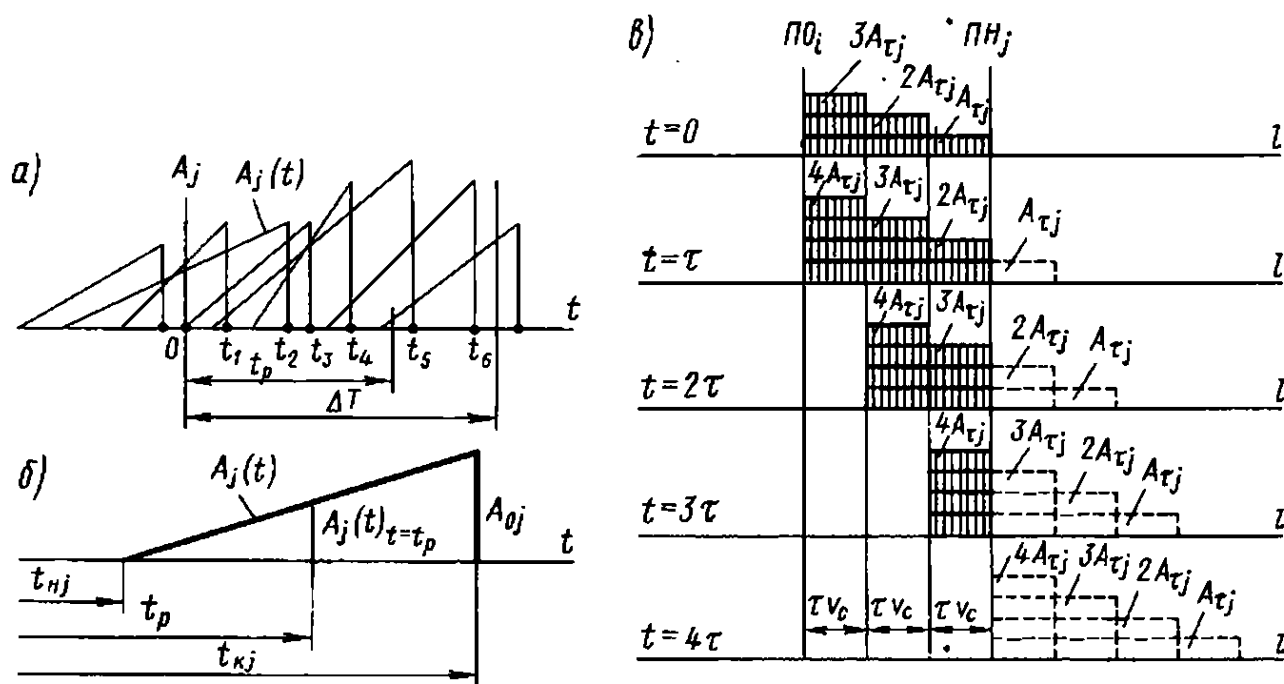


Рис. 11.12

Распределение корреспонденции A_0 во времени на интервале ΔT

a — некоторая постоянная. В частном случае $A_j(t)$ может быть линейной функцией времени: $A_j(t) = k_j t$, где k_j — постоянный коэффициент.

Если общая корреспонденция, прибывающая на предприятие j (емкость по прибытиям), равна A_{0j} , а закон ее распределения во времени изображается функцией $A_j(t)$, то корреспонденция, прибывающая к моменту времени t_p , будет $A_j(t)_{t=t_p}$. В частном случае при линейной зависимости $A_j(t) = k_j t$ получим (рис. 11.12, б):

$$A_j(t)_{t=t_p} = A_{0j} \frac{t_p}{(t_{kj} - t_{nj})},$$

где t_{nj} и t_{kj} — моменты начала и окончания периода прибытия грудящихся на предприятие j .

При расчетах на ЭЦВМ время t представляют дискретными отрезками τ , а корреспонденцию $A_j(t)$ — дискретными элементами $A_{\tau j}$. Величины τ и $A_{\tau j}$ выбирают в зависимости от объемов памяти используемых ЭЦВМ. В сумматоры ЭЦВМ заносят количества отрезков $A_{\tau j}$, укладываемых в величину $A_j(t)_{t=t_p}$, соответствующую моменту времени t_p . При линейной зависимости $A_j(t) = k_j t$ в сумматорах к моменту $t = t_p$ будет накоплено число

$$n = \frac{A_j(t)_{t=t_p}}{A_{\tau j}} = \frac{A_{0j}}{A_{\tau j}} \cdot \frac{t_p}{t_{nj} - t_{kj}}.$$

В общем случае, когда величина $A_{\tau j}$ переменная, суммируют частичные прибытия: $A_{0j} = \sum_{i=1}^n A_{\tau j}$, где $A_{\tau j}$ — переменные прибытия трудящихся на предприятие j в интервалы времени τ , 2τ , ..., $n\tau$.

Для расчетов распределения корреспонденций по транспортной сети во времени должны быть заданы генеральный план города, районы отправления i и прибытия j , связывающая их транспортная сеть, накладные затраты времени на подход к остановочным пунктам и ожидание транспорта $t_{\text{нак}} = 2t_{\text{пеш}} + t_{\text{ож}}$, транспортным расчетом определены пути следования из i в j и затраты времени t_{ij} на передвижения между ними ($t_{ij} = l_{ij}/v_c$, где v_c — скорость сообщения), а также распределение емкостей прибытия A_{0j} по районам отправления i ($A_{0j} = \sum_{i=1}^{i=k} A_{ij}$, где k — количество районов отправления) и из общего объема передвижений выделена транспортная составляющая, обеспечиваемая МПТ:

$$A_{0j \text{ МПТ}} = \sum_{i=1}^{i=k} A_{ij \text{ МПТ}} = \sum_{i=1}^{i=k} A_{ij} \varphi_{\text{тр}ij} \varphi_{\text{МПТ}ij}.$$

Транспортную сеть делят на участки длиной τv и на каждый из них ставят N сумматоров ($N = \Delta T/\tau$), каждый из которых выполняет суммирование корреспонденций $A_{\tau j}$ в своем временном интервале τ (τ , 2τ , ..., $n\tau$, где $n = \Delta T/\tau$). Затраты времени на пересадки в передвижениях l_{ij} между i и j моделируют задержкой процесса счета в точках пересадок на время, равное затрате времени на пересадку, выраженное в единицах τ . Суммирование корреспонденций можно при этом вести не

только по участкам сети, но и по участкам маршрутов, но это требует увеличения занятой памяти ЭЦВМ. Показания сумматоров отражают прохождение элементарных прибытий A_{ij} по ТС и величины пассажиропотоков на всех участках ТС в каждый момент времени t (в единицах τ).

В качестве примера на рис. 11.12, в показана схема прохождения в $ПН_j$ из $ПО_i$ некоторой корреспонденции $A_{ij} = 9A_{ij}$ на пути $l_{ij} = 3\tau v_c$. Принята линейная зависимость $A_j(t) = k_j t$ и $k_j = 1$. За $t = 0$ взят момент, когда корреспонденция, вошедшая в $ПН_j$, равна нулю [$A_j(0) = 0$], ближайший к $ПН_j$ участок τv_c загружен корреспонденцией $A_1(0) = A_{ij}$, второй — $A_2(0) = 2A_{ij}$ и третий — $A_3(0) = 3A_{ij}$. В момент $t = \tau$ корреспонденция $A_j(\tau) = A_{ij}$, $A_1(\tau) = 2A_{ij}$, $A_2(\tau) = 3A_{ij}$, $A_3(\tau) = 4A_{ij}$. В момент $t = 2\tau$ соответственно $A_j(2\tau) = 3A_{ij}$, $A_1(2\tau) = 3A_{ij}$, $A_2(2\tau) = 4A_{ij}$, $A_3(2\tau) = 0$. В момент $t = 3\tau$ — $A_j(3\tau) = 6A_{ij}$, $A_1(3\tau) = 4A_{ij}$, $A_2(3\tau) = A_3(3\tau) = 0$. Наконец, в момент $t = 4\tau$ — $A_j(4\tau) = 9A_{ij}$ и $A_1(4\tau) = A_2(4\tau) = A_3(4\tau) = 0$. Это означает, что в $ПН$ прошла вся корреспонденция.

Целью расчетов пассажироперевозок с учетом формирования во времени является минимизация колебаний по участкам сети за счет раздвижки моментов времени начала и окончания работы предприятий города. Выбор оптимального варианта раздвижки моментов начала работы предприятий по критерию минимума колебаний пассажиропотоков во времени производят методом перебора на ЭЦВМ. В пиковый период ΔT суммарная корреспонденция, прибывающая к началу работы всех предприятий города

$$A_0 = \sum_s A_{0j},$$

где s — общее количество рассматриваемых предприятий города.

Корреспонденция A_0 не зависит от моментов t_0 начала работы предприятий (разных для разных предприятий), от положения их в рассматриваемом пиковом периоде ΔT , от вида функций $A_j(t)$, определяющих запасы времени прибытия корреспонденций. От всех этих факторов зависит только распределение корреспонденции A_0 по участкам ТС во времени. Пассажиропоток в некотором сечении z сети равен сумме нагрузок A_{ij} , создаваемых в рассматриваемый момент времени t корреспонденциями из всех i во все j :

$$F_z(t) = \sum_{i,j} A_{ij}(t)_z.$$

Функция $F_z(t)$ — величина переменная. В интервале ΔT она меняется по дискретным единицам времени τ в зависимости от распределения на нем моментов времени начала работы рассматриваемых предприятий. Математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение этой функции

$$F_z(t)_{cp} = \sum_{n=1}^{n=\Delta T/\tau} F_z(t)/n; \quad n = \Delta T/\tau;$$

$$\sigma_z = \sum_{n=1}^{n=\Delta T/\tau} [F_z(t) - F_z(t)_{cp}]^2/n.$$

Минимуму общей неравномерности пассажиропотоков ТС в расчетный период ΔT соответствует условие:

$$\sigma_F = \sum_{z=1}^{z=m} \sigma_z = \text{Мин},$$

где m — общее количество рассматриваемых сечений z транспортной сети.

Задаваясь допускаемой длительностью периода ΔT рассредоточения моментов начала работы предприятий и интервалом дискретности τ , можно найти общее количество возможных моментов начала работы предприятий

$$Q_\tau = \Delta T / \tau \quad (11.75)$$

Если число обследуемых предприятий s , то количество возможных вариантов рассредоточения моментов начала работы предприятий будет Q_τ^s . Все их (или определенную выборочную совокупность) просчитывают на ЭВМ, которая и выдает лучших из них по критерию $\sigma_F = \text{Мин}$.

Количество возможных моментов начала работы предприятий обычно очень велико. При $\Delta T = 2,5$ ч и $\tau = 15$ мин получаем, например, $Q_\tau = \Delta T / \tau = 2,5 \cdot 60 / 15 = 10$. Если при этом $s = 10$, то $Q_\tau^s = 10^{10}$, если $s = 100$, то $Q_\tau^s = 10^{100}$. При больших величинах Q_τ и s число расчетных вариантов оказывается чрезмерным даже для быстродействующих ЭВМ. В этом случае находят приближенные решения методом статистических испытаний (методом Монте-Карло).

§ 11.9. Программы расчета пассажироперевозок на ЭВМ

В современной проектной практике транспортные расчеты выполняют в большинстве случаев на ЭВМ. Прежде всего их используют для расчета объемов передвижений методом взаимных корреспонденций транспортных районов, отличающимся сравнительно большой трудоемкостью. Машинная реализация этих расчетов осуществлена в двух формах: сетевой [6] и маршрутной [17]. Алгоритм решения задачи формализован в виде последовательности вычислительных операций (арифметических и логических действий и операций по передаче управления), которые объединены в программные модули — блоки. Кроме блоков, выполняющих расчетные и логические операции, в расчетных модулях используют служебные блоки, осуществляющие ввод в память ЭВМ исходных данных и выдачу результатов расчета на печать — перфолеиту (ПЛ), алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ), устройства малой (узкой) быстродействующей печати (БПМ) и т. д. Применение специальных чертежных автоматов ПАЖ-1 и других приставок позволяет получать результаты расчетов в графической форме — картограммы пассажиропотоков, изохронограммы и т. д.

Совокупность программных блоков, из которых набирают вычислительные процессы, называют *библиотекой программных блоков* или *программным обеспечением*. Каждой из программ (блоку) библиотеки присвоен определенный номер или шифр. Все они хранятся на специальной магнитной ленте (МЛ) программного обеспечения. Специальная

программа «диспетчер» обеспечивает сборку нужных программ из библиотеки в вычислительный процесс, который представляется, таким образом, в виде цепочки номеров или шифров последовательно исполняемых программ. В зависимости от решаемой задачи составляют различные модели транспортного расчета и различные программы выполнения одних и тех же расчетов. Поэтому программное обеспечение, т. е. деление вычислительного процесса на операции и блоки, выполняют так, чтобы имела возможность их использования в различных вычислительных процессах и пополнения библиотеки новыми программами, использующими новые алгоритмические идеи, приемы программирования, технические средства ввода и вывода информации и теоретические разработки в области транспортных расчетов.

Процесс транспортного расчета на ЭВМ сводится к подготовке исходных данных и задания на расчет, вводу их в память ЭВМ, выполнению расчетов и анализу результатов расчета. В этом процессе ЭВМ выполняет только сам расчет и выдачу его результатов на печать. Подготавливает исходные данные и вводит их вместе с заданием на расчет в память ЭВМ программист и оператор ЭВМ. Анализирует и оценивает результаты расчета заказчик — специалист, выполняющий транспортный расчет.

Набор исходной информации для транспортного расчета определяет задание, т. е. поставленные в нем цели и возможности их реализации в пределах математического обеспечения (блоков программ) и объема памяти ЭВМ. В частности, при использовании ЭВМ Минск-22 расчет транспортной системы с учетом маршрутной организации пассажироперевозок (в маршрутной форме) ограничен объемом по максимальному количеству [17]: транспортных районов — 126, узлов транспортной сети — 255, маршрутов — 126, видов МПТ — 8, классов автомагистралей — 8, выходов из транспортного узла — 16, проходящих через узел маршрутов — 16. Для исключения ошибок исходную информацию записывают на специальных бланках, а после ввода ее в ЭВМ проверяют в специально организованных расчетных программах.

Обычно исходная информация для расчета корреспонденций состоит из трех массивов: характеристик транспортных районов, характеристик системы городских путей сообщения (ГПС) и принимаемых в расчете закономерностей формирования передвижений населения. Содержание этих массивов может быть различным в зависимости от задания на расчет и источников информации. Вся эта информация должна, естественно, обеспечивать возможность однозначного описания в цифровой системе. В частности, ТС изображается для этого графом, вершинами которого являются транспортные узлы, центры транспортных районов и объектов массового тяготения населения, т. е. точки, где пассажиропотоки могут менять величину или направление. Дуги этого графа изображают участки улично-дорожной сети, сетей МПТ, участки пешеходного движения и пересадки с одного вида ГПТ на другой. Для описания сети в цифровой системе каждой вершине графа присваивают неповторяющийся номер. Описание сети выполняют в виде набора координат вершин графа, набора описаний его дуг или всех возможных путей следования между центрами зарождения и погашения пассажиро-

перевозок. Способ описания определяется программой вычислительного процесса.

Массив характеристик транспортных районов включает в себя массивы данных об их трудовой и культурно-бытовой емкости по отправлениям и прибытиям, массивы характеристик транспортной обслуженности населения (накладных затрат времени и дальностей подхода к остановочным пунктам МПТ и автостоянкам ИПТ), массивы характеристик внутрирайонных передвижений (затраты времени и дальности) и др., например массивы данных о загрузке транспортных районов по трудовым прибытиям и отправлениям в расчетный час пик. Транспортные районы обычно группируют в планировочные зоны (например, в центральную, срединную и периферийную или соответствующие административному делению города), что позволяет получить для каждой зоны в результате расчета распределение передвижений по интервалам времени и дальностям, средние затраты времени и дальности передвижений, пассажиропотоки и характеристики работы транспортной системы. Соответственно этому массивы исходных данных о транспортных районах записывают в бланки в порядке, позволяющем получать итоговые результаты расчета не только по городу в целом, но и по его планировочным зонам.

Массив характеристик системы ГПС в получившем широкое распространение в практике работы проектных организаций программном обеспечении транспортного расчета в сетевой форме, разработанием ЦНИИП градостроительства, задают массивом описаний каждой дуги графа ТС, содержащих информацию о номерах вершин, ограничивающих участок; классе (шифре) автомагистрали, которой он принадлежит; видах (шифре) МПТ, проходящих по участку (один из шифров описывает пешеходную связь); его длине; времени проезда по участку на МПТ и ИПТ.

Другой способ описания системы ГПС предусматривает заполнение трех массивов:

1. Массива цепочек участков, имеющих одинаковые характеристики движения (класс автомагистрали, виды МПТ и ИПТ, скорости движения МПТ и ИПТ) и отдельных участков с отличающимися условиями движения (ими могут быть кривые участки пути, участки ограничения скоростей движения, либо участки, описывающие пересадки и пешеходный подход из центров транспортных районов к узлам сети).

2. Массива координат всех узлов ТС, центров транспортных районов, станций пассажирообмена внеуличного транспорта и др.

3. Массива скоростей движения ИПТ и МПТ на всех участках и цепочках участков, входящих в первый массив.

Программное обеспечение транспортного расчета в маршрутной форме [17] предусматривает описание системы ГПС массивами описаний всех участков графа ТС (длина, ширина проезжей части, класс автомагистрали, номера вершин), массивами информации о характеристиках и трассах маршрутов МПТ (трасса следования в виде цепочек проходимых маршрутом узлов сети, видах МПТ, вместимости и частоте движения поездов и др.), массивами информации о пересадочных узлах разных видов МПТ (затратах времени на пересадки) и массивами инфор-

мации о требующихся затратах времени на движение по участкам при использовании разных видов МПТ и ИПТ.

Информацию о закономерностях выбора населением способов передвижений задают массивами функций тяготения для передвижений разных видов (трудовых, культурно-бытовых к объектам внутрирайонного и городского значения), коэффициентов пользования транспортом в функции дальностей и скорости передвижений и коэффициентов пользования МПТ (разделения пассажироперевозок между МПТ и ИПТ в функции дальности и соотношения затрат времени на передвижения с использованием МПТ и ИПТ).

Вычислительный процесс организуют в соответствии с заданием на расчет, в котором в виде массивов чисел задают количество транспортных районов, область сглаживания Δl при распределении корреспонденций по альтернативным путям следования (предельное превышение затрат времени передвижения на альтернативных путях по сравнению с затратами на кратчайшем), максимальное количество путей, используемых при распределении корреспонденций по альтернативным в области сглаживания; шифры видов рассчитываемых передвижений (трудовых, культурно-бытовых, деловых и др.) и передвижений, требующих балансировки; коэффициенты привлекательности районов прибытия по передвижениям различного назначения и др. Вычислительный процесс набирают в виде блоков программ из библиотеки. Последняя, например в программном обеспечении расчета системы ГПС в маршрутной форме, состоит из трех групп блоков: А — ввода первичной информации и задания на расчет; Б — расчетной части и С — служебной сервисной части. Основной комплекс вычислительного процесса состоит из блоков:

- 1—А — блок ввода задания и информации об улично-дорожной сети;
- 2—А — информации о характеристиках транспортных районов и закономерностях выбора населением видов передвижений;
- 3—А — информации о маршрутах МПТ;
- 4—А — преобразования информации о маршрутной системе в форму, необходимую для работы блоков расчетной части;
- 1—Б — поиска путей следования на МПТ;
- 2—Б — поиска путей следования на ИПТ;
- 3—Б — определения параметров транспортных связей (коэффициентов пользования транспортом и МПТ, расчетного времени сообщения);
- 4—Б — расчета корреспонденций в передвижениях;
- 5—Б — расчета корреспонденций в поездках;
- 6—Б — преобразования матриц корреспонденций (квадратных в треугольные, более удобные для работы программ следующих блоков);
- 7—Б — распределения поездок по маршрутам МПТ;
- 5—А — ввода задания на распределение пассажиров ИПТ;
- 8—Б — распределения поездок пассажиров ИПТ по ТС;
- 9—Б — анализа загрузки улично-дорожной сети;
- 1—С — подготовки программ к использованию;
- 2—С — печати времени и дальностей передвижений;

- 3—С — печати пассажиропотоков на маршрутах МПТ;
- 4—С — суммирования маршрутных пассажиропотоков в сетевые;
- 5—С — печати пассажиропотоков на сети МПТ;
- 6—С — печати характеристик движения на улично-дорожной сети;
- 7—С — печати пассажиропотоков на сети ИПТ.

Вычислительный процесс записывают в виде цепочки, определяющей последовательность выполнения на ЭВМ вычислительных операций программ блоков вычислительного комплекса. В качестве примеров [17] на рис. 11.13 показаны схемы организации полного расчета транспортной сети (а) и оценки транспортного обслуживания населения по критерию затрат времени при разных вариантах маршрутной системы (б). Сплошными линиями показаны прямые связи между блоками в вычислительном процессе, пунктирными — обратные связи между ними. Аналогично составляют и набирают в цепочки вычислительный процесс при сетевой форме расчета системы ГПС.

В целях сокращения непроизводительных затрат машинного времени в ЭВМ вводят только выверенные программы. Ошибки в исходной информации приводят к остановам ЭВМ. Поэтому до начала основного счета программы ввода информации проверяют в соответствующих вычислительных процессах. Чтобы проверить информацию о системе ГПС, следует, например, выбрать на плане города два-три транспортных района, расположенных в разных точках графа сети, и определить пути следования в них из всех других районов с использованием программ блоков 1—А, 1—Б и 2—Б, в вычислительных процессах 1—А, 1—Б, конец или 1—А, 2—Б, конец. Наиболее часто встречающимися ошибками в информации о ТС являются: обозначение двух разных вершин одинако-

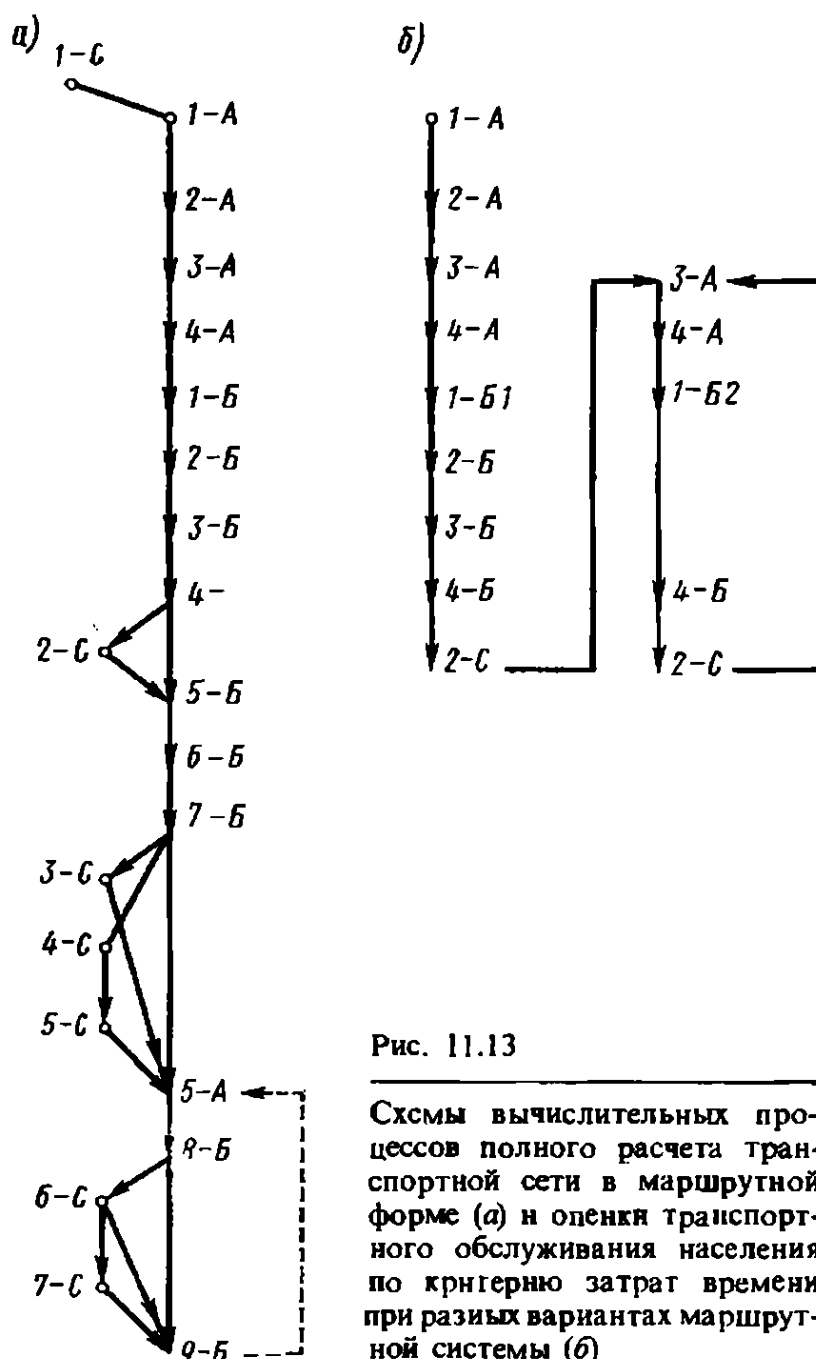


Рис. 11.13

Схемы вычислительных процессов полного расчета транспортной сети в маршрутной форме (а) и оценки транспортного обслуживания населения по критерию затрат времени при разных вариантах маршрутной системы (б)

выми номерами, описание несуществующей связи двух вершин («склейка» сети) или неполное описание отдельных участков сети, которое называют «разрывом» сети. Для операторов ЭВМ составляют перечни и описания программных остановов ЭВМ, позволяющие быстро выявлять и устранять их причины.

Г л а в а 12

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ И МАРШРУТНОЙ СИСТЕМЫ ГПТ

§ 12.1. Принципы и технические нормативы проектирования городских транспортных сетей

Транспортная сеть города состоит из путей сообщения: улично-дорожной сети и внеуличных путей сообщения. По составу движения их классифицируют на пути сообщения легкового, грузового, смешанного движения легкового и грузового, общественного (МПТ), смешанного движения автомобильного и общественного транспорта.

Наиболее существенную роль в формировании ТС существующих городов имеет улично-дорожная сеть. Это связано с тем, что она складывалась как ТС для пешеходных и транспортных передвижений исторически на протяжении веков и требует меньших капиталовложений по сравнению с внеуличными (подземными и эстакадными) путями сообщения. Поэтому несмотря на большие преимущества, связанные с полным отделением движения городского транспорта от пешеходного, проектирование внеуличных путей сообщения рассматривают в большинстве случаев как вынужденное решение, связанное с транспортной перегруженностью городского пространства. По мере роста населения и расширения городских территорий вначале развивают улично-дорожную сеть и лишь тогда, когда она перестает справляться с возросшими транспортными потоками, дополняют ее внеуличными путями сообщения.

Технические нормативы проектирования улично-дорожных сетей и внеуличных путей сообщения привязывают к их функциональной характеристике, т. е. назначению в общей системе транспортных связей города. В улично-дорожной сети по назначению различают [35]:

Скоростные дороги. Назначение — скоростная транспортная связь между районами крупнейшего или крупного города с развязками в разных уровнях, а также города с другими городами и населенными пунктами системы группового расселения. Расчетная скорость движения транспорта на этих дорогах 120 км/ч. Размещают их преимущественно на территориях санитарно-защитных зон; при размещении на селитебных территориях полностью изолируют от пешеходного и местного движения (в выемках, тоннелях или на эстакадах); расстояние от края проезжей части скоростных дорог до красной линии жилой застройки должно быть не менее 50 м; ширина полосы движения на скоростных дорогах — 3,75 м; наименьшее число полос движения в одном направлении движения — три плюс одна резервная, покрытия проезжей части — усовершенствованные капитальные (цементобетонные, железобетон-

ные, асфальтобетонные на прочных основаниях, мозаиковые мостовые на бетонных или каменных основаниях), наибольшие продольные уклоны — 40 ‰; минимальные радиусы кривых — 600 м.

Магистральные улицы и дороги общегородского значения непрерывного (УНД) и регулируемого (УРД) движения. Назначение этих улиц — транспортная связь между жилыми, промышленными и общественными центрами города, а также со скоростными дорогами. Транспортные развязки на УНД делают в разных уровнях, расчетная скорость движения транспорта — 100 км/ч, транспортные развязки на УРД — в одном уровне, расчетная скорость движения транспорта — 80 км/ч. УНД предусматривают на направлениях основных пассажиро- и грузопотоков в общегородской центр и к крупным промышленным комплексам, а также для разгрузки центра от потоков транзитного транспорта. Число полос проезжей части УНД должно быть как и на городских скоростных дорогах не менее трех плюс одна резервная, ширина в красных линиях 75 м, покрытия — те же, что и на скоростных дорогах, тротуары — по расчету, но не менее 4,5 м на первую очередь и 7,5 м на расчетный срок строительства. Те же требования, за исключением ширины, предъявляют и к магистральным улицам регулируемого движения (УРД). УРД могут иметь три полосы в одном направлении движения (две основные плюс одна резервная) и ширину 60 м (в красных линиях).

Магистральные улицы и дороги районного значения. Назначение этих дорог — транспортная связь в пределах района и с магистральными улицами общегородского значения. Они допускают транспортные развязки в одном уровне, расчетную скорость движения транспорта 80 км/ч (ту же, что и УРД городского значения), имеют ширину 35 м в красных линиях (из расчета трех полос движения по 3,75 м в каждом направлении движения). Наибольший продольный уклон магистральных улиц и дорог районного значения — 60 ‰, наименьшие радиусы кривых на них — 250 м, покрытия проезжей части усовершенствованные капитальные и облегченные из битумно-минеральных смесей или холодного асфальта на щебеночных, шлаковых, гравийных и грунтовых основаниях, укрепленных вяжущими добавками.

Магистральные дороги грузового движения. Назначение этих дорог — грузовые перевозки между промышленными и коммунально-складскими зонами города преимущественно вне жилой застройки. Расчетная скорость движения на них — 80 км/ч.

Улицы и дороги местного значения. К ним относят жилые улицы, дороги промышленных и коммунально-складских районов, пешеходные улицы и дороги, проезды в пределах микрорайонов. Их назначение — транспортная связь микрорайонов с магистральными улицами и внутрирайонными объектами, по ним допускают движение легкового и грузового автотранспорта со скоростями до 60 км/ч.

Для движения ГМПТ предназначаются только магистральные улицы и дороги общегородского и районного значения. Плотность их по СНиП на расчетный срок принимается равной 2,2—2,4 км/км² территории городской застройки [35, п. 8.8], расстояния между осями улиц — 600—800 м, причем в климатических подрайонах IА, IБ, IГ и IIА они могут быть уменьшены до 400—600 м [35, п. 8.12].

В соответствии с рекомендациями СНиП плотность сетей ГМПТ — $1,5—2,0 \text{ км/км}^2$ в зависимости от планировочной структуры города [35, п. 8.15]. При частоте движения автобусов и троллейбусов более 90 машин (час пик) в одном направлении движения на УНД для ГМПТ организуют отдельные полосы движения [35, п. 9.17].

В крупных городах обычные уличные виды ГМПТ, включая городской электрический транспорт, не обеспечивают требуемые СНиП ограничения по затратам времени в трудовых передвижениях вследствие сравнительно низкой скорости сообщения. Объемы городского движения растут с территориальным ростом города и на некоторой стадии достигают пределов пропускной способности городских улиц и дорог. Это приводит к снижению реализуемых скоростей движения и провозной способности ГМПТ. Скоростное движение ГМПТ может быть организовано эффективно только на ГСД и УНД, но экономическая плотность их сравнительно мала. Поэтому в крупных и крупнейших городах наряду с улично-дорожной сетью ГМПТ организуют внеуличные городские пути сообщения.

Линии метрополитена. Предназначены для скоростной транспортной связи удаленных районов крупных городов (с населением более 1 млн. человек) по направлениям с мощными и устойчивыми пассажиропотоками. Могут быть подземными (в тоннелях), надземными (на эстакадах) и наземными (по насыпи, в выемке или на уровне земли в ограждениях). Благодаря большим капиталовложениям характеризуются небольшой экономической плотностью ТС ($0,1—0,6 \text{ км/км}^2$).

Головные участки, глубокие вводы и диаметры железнодорожных линий. Устройство железнодорожных вводов в центральную часть города возможно при условии полной изоляции их от остального городского движения. Проектируют городские железнодорожные линии по нормам проектирования обычных железных дорог.

Линии скоростного трамвая. Предназначены для скоростной связи удаленных районов при наличии устойчивых пассажиропотоков до 25—30 тыс. пасс/ч (в одном направлении). Характеризуются полным отделением от остального городского движения. В плотно-застроенных городских центрах и районах их прокладывают в тоннелях мелкого заложения (подземный трамвай), в районах со средней плотностью застройки — на обособленном (желательно огороженном) полотне, в периферийных районах — аналогично линиям обычного трамвая.

Монорельсовые и бирельсовые эстакадные и подземные дороги новых видов ГПТ. Находятся в стадии проектных разработок и опытной эксплуатации. Основное их преимущество — освобождение поверхности улиц для пешеходного движения.

Основные принципы проектирования ГТС в настоящее время:

1. Выбор нормативных параметров ГПС, обеспечивающих возможно более полное использование скоростных возможностей и динамических показателей работы подвижного состава ГПТ. Небольшая ширина городских улиц и малые радиусы поворотов определили габаритные ограничения современного подвижного состава, а их высокая

конфликтность (частые пересечения городских улиц и недостаточное отделение транспортного потока от пешеходного) в сочетании с малыми радиусами поворотов и большими продольными уклонами обусловили ограничения скоростей движения на транспортных проездах. В целях повышения показателей использования подвижного состава и качественных характеристик перевозок ГПС трассируют с возможно меньшими продольными уклонами и максимальными радиусами поворотов, соответственно выбирают материалы и ровность покрытий, обеспечивают высокую видимость пути перед поездами в плане и профиле.

2. Специализация, обусловленная стремлением:

а) организовать городское движение на ограниченном количестве направлений с целью разумного сокращения общей длины сети за счет повышения интенсивности ее использования и снижения конфликтности (в результате уменьшения количества пересечений);

б) обеспечить максимальное повышение скоростей движения транспортного потока и пропускной способности транспортных линий за счет повышения его однородности;

в) снизить стоимость строительства за счет выделения тяжеловесного транспорта (троллейбус, автобус, грузовые автомобили) на магистрали с усиленным дорожным покрытием, а легкового транспорта и пешеходного движения — на магистрали с облегченным покрытием;

г) изолировать по возможности большую часть жилой застройки от вредного влияния транспорта (транспортного шума, пыли, загазованности атмосферы).

Основные проблемы проектирования современных городских транспортных систем — повышение пропускной способности, скорости и безопасности движения транспорта. Поэтому будущее транспортных систем крупных городов связано с развитием сетей внеуличных путей сообщения.

При проектировании ГПС и ТС весьма важен системный подход, так как их характеристики обусловлены требованиями транспортного обслуживания связанного с ним города. Необходимо исследовать все эти связи и выделить из них главные, оказывающие решающее влияние на экономичность транспортной системы. Трудности обусловлены большой консервативностью транспортных систем, изменение которых после сооружения связано с огромными затратами. В связи с развитием автомобилизации непрерывно расширяются связи городских транспортных систем с внегородскими, существовавшие ранее резкие грани между ними стираются, что необходимо учитывать на стадии их проектирования.

§ 12.2. Закономерности формирования городских транспортных сетей

Как и в области формирования пассажиропотоков, в области построения ТС важно учитывать устойчивые закономерности, опираясь на которые, можно было бы определять их параметры, соответствующие тем или другим условиям. Наиболее общей закономерностью и особенностью городских транспортных сетей (ГТС) является неравномерное распределение плотности по зонам города в соответствии с концентрацией населения и распределением центров транспортного тяготения.

Общая тенденция состоит в нарастании плотности расселения населения по направлению от периферии к центру (см. рис. 1.4, *а* и *б*). Она связана с объективными геометрическими свойствами городского пространства, которые определяют не только распределение в нем плотности расселения населения, но и закономерности формирования транспортных потоков.

Геометрические свойства городского пространства определяют, в частности, транспортную перегруженность городских центров, которую нельзя снять никакими планировочными решениями. В свете этой закономерности одна из задач проектирования ГТС заключается в создании условий, позволяющих уменьшить перегрузку транспортных путей в центральной зоне. Решение ее достигается сгущением ТС в центральных районах, созданием обходных направлений и внеуличной транспортной сети. Поиски решения транспортной планировки городских центров привели к многочисленным теоретическим построениям «идеальных» транспортных систем, которые по своим геометрическим свойствам исключали бы перегрузку центра. В этой связи возникла, в частности, прямоугольная и прямоугольно-диагональная ТС (см. рис. 5.1) для городов без явно выраженного центра. Следует, однако, отметить нереальность этих геометрических построений, так как они противоречат закономерностям распределения транспортных связей, определяемым геометрическими свойствами городского пространства. В частности, при той же прямоугольной ТС в результате самоорганизации населения стихийно создаются городские центры вопреки воле градостроителей. Градостроительная практика и теоретические соображения показывают, что транспортная нагрузка городских центров практически не зависит от их планировки, а определяется в основном населенностью города и его социально-исторической характеристикой. Однако распределение транспортных нагрузок центра зависит от транспортных возможностей его сети, в частности ее геометрических характеристик, вернее их соответствия направлениям транспортного тяготения населения. Это явление называют эффектом обратной связи геометрических характеристик транспортной сети и реализующихся на ней пассажироперевозок.

В соответствии с отмеченными закономерностями прогрессивным принципом формирования ГТС следует считать не геометрический подход, а учет расположения и емкостей конкретных объектов зарождения и погашения пассажирских и грузовых транспортных потоков, включая транзитные. Критерием оценки трассировки транспортных линий является при этом минимум предстоящей на них транспортной работы (при том же объеме пассажироперевозок).

Благодаря наличию объективных закономерностей формирования ГТС их характеристики могут быть представлены в функции определяющих параметров, из которых главным в проектной практике принимают населенность города. В определенной зависимости от населенности находится площадь города, константа пространственной самоорганизации его населения, средний радиус расселения, оптимальная плотность ТС, коэффициент пользования транспортом, маршрутный коэффициент, коэффициент пересадочности и другие характеристики транспортных систем.

Основные градостроительные и транспортные характеристики городов СССР (средние данные) в функции их населенности [4] приведены ниже:

Населенность города H , тыс. жителей	3,5	10	50	100	250	500	750	1000	3000	7000
Площадь города, освоенная ГПТ, км ²	3,3	8,8	37	64	115	182	244	300	540	770
Плотность расселения, тыс. чел/км ²	1,06	1,1	1,35	1,56	2,17	2,75	3,08	3,34	5,54	9,1
Средняя скорость передвижений $V_{с. пр.}$, км/ч	4,14	4,25	6	6,8	7,9	9	9,9	10,9	12	12
Скорость сообщения из периферийных районов к центру $V_{с.}$, км/ч	7,1	7,7	11,8	13,7	16,5	18,9	21,9	24,2	25	28,7
Транспортная подвижность населения, поездок в год на жителя	—	50	170	220	300	340	350	360	—	—
Оптимальная плотность транспортной сети, км/км ²	—	—	1,3	1,65	1,98	2,27	2,45	2,55	2,7	—
Длина транспортной сети $L_{с.} = \sqrt{F_{сел.}}$, км	—	—	48	105	228	412	600	765	1450	—
Средний по городу коэффициент пользования транспортом	0,01	0,05	0,17	0,24	0,4	0,52	0,57	0,61	0,76	0,76

Вследствие большого количества социально-исторических, экономических, географических и других определяющих факторов все они проявляют себя как статистические величины, характеризующиеся большими зонами разброса. В определенной зависимости от населенности H находится плотность h_F заселения селитебной территории города $F_{сел.}$. Общая закономерность заключается в возрастании плотности заселения h_F с ростом населенности H . Практически это означает, что чем больше город, тем выше средняя этажность его застройки. Плотность заселения $h_F = H/F_{сел.}$, откуда

$$F_{сел.} = H/h_F. \quad (12.1)$$

По (12.1) можно ориентировочно определить площадь территории города $F_{сел.}$ при заданной его населенности H .

Функцией площади города являются его пространственные характеристики и расселение населения, определяемые константой пространственной самоорганизации по затратам времени на передвижения. Константа пространственной самоорганизации (средние затраты времени на трудовые передвижения t_d) с ростом населенности города увеличивается,

приближаясь к предельному значению ≈ 40 мин. Средний радиус расселения R_p и максимальный диаметр города $2R_r$ связаны с константой пространственной самоорганизации соотношениями (10.28).

С ростом территориальных размеров города соответственно увеличивается транспортная подвижность его населения, растут объемы пассажироперевозок и требующаяся мощность городских транспортных систем, скорости сообщения, оптимальная плотность ТС по критерию трудности сообщения, длина ТС, маршрутный коэффициент и средний коэффициент пользования транспортом.

§ 12.3. Методы проектирования транспортных сетей

Для оптимизации при синтезе ТС используют:

1. Критерий минимума общей суммы k_c (руб.) и удельных капитальных затрат k_{cL} (руб/км) и k_{cQ} [руб/(пасс-км)] на сооружение транспортной сети:

$$k_c = \text{Мин}; \quad k_{cL} = k_c/L_c = \text{Мин}; \quad k_{cQ} = k_c/Q = \text{Мин}, \quad (12.2)$$

где L_c — длина транспортной сети, км; Q — объем предстоящей на ней транспортной работы, пасс-км.

При одинаковой удельной стоимости прокладки ТС на всех участках критерий (12.2) эквивалентен критерию минимума длины ТС при том же уровне предоставляемых населению транспортных удобств:

$$L_c = \sum_i l_i = \text{Мин}, \quad (12.3)$$

где l_i — длина i -го участка ТС.

2. Критерий минимума предстоящей на ней транспортной работы при том же уровне предоставляемых населению транспортных удобств:

$$Q = \sum_i F_i l_i = \text{Мин}, \quad (12.4)$$

где F_i — пассажиропотоки участков ТС.

В частном случае при одинаковой загрузке участков ТС критерий (12.4) приводится к критерию (12.3).

3. Критерий минимума коэффициента непрямолинейности передвижений

$$k_{BA} = \sum_i A_{ij} l_{ij} / \sum_{i,j}^* A_{ij} l_{ijB}, \quad (12.5)$$

где l_{ij} и l_{ijB} — расстояния передвижения между i и j соответственно по ТС и по воздушной прямой; A_{ij} — объем передвижений между i и j .

4. Критерий минимума приведенных затрат строительства и эксплуатации ТС, включая стоимостной эквивалент затрат транспортного времени пассажиров:

$$s = \sum_i k_{cij} \epsilon_n l_{ij} + \sum_{i,j} c_{bij} A_{ij} l_{ij} = \text{Мин}, \quad (12.6)$$

где k_{cij} — удельные капитальные вложения в строительство или реконструкцию 1 км участка сети между i и j ; ϵ_n — нормативный коэффициент

эффективности капиталовложений; l_{ij} — длина участка; c_{2ij} — эксплуатационные расходы на 1 пасс-км транспортной работы с учетом стоимостного эквивалента затрат транспортного времени пассажиров.

5. Критерий минимума приведенных затрат транспортного времени населения в трудовых передвижениях:

$$t_{\text{пр}} = \sum A_{ij} t_{ij} / \sum A_{ij}, \quad (12.7)$$

где t_{ij} — затраты транспортного времени в рассматриваемых категориях передвижений A_{ij} населения (пешеходных и транспортных всех видов).

При решении задач синтеза ТС эвристическими методами без применения ЭВМ используют все перечисленные критерии оптимизации. При решении задач на ЭВМ могут быть использованы не все эти критерии, так как некоторые из них, в частности критерии (12.3) и (12.5), удовлетворяются только при введении ограничений на величину минимальных пассажиропотоков. Кроме того, требуют учета и другие ограничения: по пропускной способности участков, топографические ограничения трассировки линий, планировочно-градостроительные и др.

Помимо общей задачи синтеза ТС по тем или другим критериям оптимизации с учетом градостроительных и других ограничений, которая отличается большой сложностью и поэтому не может быть формализована, представляет интерес более простая (но также не имеющая общего решения) задача синтеза кратчайших ТС при заданном расположении и «весах» (трудовой и культурно-бытовой емкости) центров транспортного тяготения без учета градостроительных ограничений (на «свободной изотропной плоскости»). Эта задача имеет смысл для определения «идеальной», транспортной сети, которую мог бы использовать архитектор при решении задач выбора типа планировки города и транспортник при эвристическом поиске вариантов ТС с учетом заданной планировки и других градостроительных ограничений. Для этой задачи имеются две основные постановки:

1. Задача отыскания прямолинейных связей заданных центров тяготения с запретом выбора других направлений сети или, иначе говоря, с запретом образования узлов ТС вне заданных центров транспортного тяготения (задача Прима).

2. Задача отыскания прямолинейных связей заданных центров тяготения с возможностью образования неограниченного количества узлов, не совпадающих с заданными центрами транспортного тяготения (обобщенная задача Штейнера).

Задача Прима имеет простые и удобные для практики графические и вычислительные методы решения, которые сводятся к использованию двух принципов: 1) прямолинейной связи любого изолированного центра тяготения с ближайшим соседом; 2) кратчайшей прямолинейной связи любого изолированного фрагмента сети с ближайшим центром тяготения, еще не вошедшим в сеть. *Фрагментами сети* называют любое, связанное прямыми звеньями подмножество центров тяготения (в простейшем случае — два центра тяготения, связанные прямолинейным звеном) на еще недостроенной сети. Принцип 1 используют обычно только для получения простейшего изолированного фрагмента сети в виде от-

резка, соединяющего два ближайших центра тяготения, а принцип 2 — для расширения его до полного построения крагчайшей ТС. Информацию о заданном множестве R центров тяготения представляют матрицей $R \cdot R$ расстояний между ними по воздушным прямым или соответствующих затрат времени на передвижения. Связям, не допускаемым по каким-либо соображениям, присваивают вес, равный бесконечности.

На рис. 12.1 приведен пример построения крагчайшей транспортной сети методом Прима между центрами тяготения 1—7. За центр построения принят узел 6. Вначале в соответствии с принципом 1 от него построен фрагмент сети 6—4, а затем в соответствии с принципом 2 выполнено его наращивание до тех пор, пока в сеть вошли все заданные узлы. Легко проверить, что аналогичная сеть была бы построена, если бы за центр построения был взят любой другой из заданных транспортных узлов. Окончательная крагчайшая транспортная сеть показана на рис. 12.1, ж, но легко видеть, что она не является оптимальной по транспортным критериям прямолинейности связей и, следовательно, затрат транспортного времени на передвижения. Это и понятно, так как минимум длины является лишь локальным, лишь одним из критериев оптимизации ТС. Коэффициент непрямолинейности связей между центрами транспортного тяготения в полученной транспортной сети равен 1,4, т. е. чрезмерно велик. Одна из причин этого — некорректность привлечения задачи Прима для синтеза ТС. Действительно, при двух центрах транспортного тяготения крагчайшая ТС между ними представляет собой прямолинейный отрезок l независимо от весов вершин (рис. 12.2, а). При трех центрах транспортного тяготения, образующих треугольник АВС, крагчайшая транспортная сеть между ними определяется по методу Прима как сумма двух кратчайших сторон треугольника (на рис. 12.2, б выделены жирными линиями). В действительности крагчайшая сеть

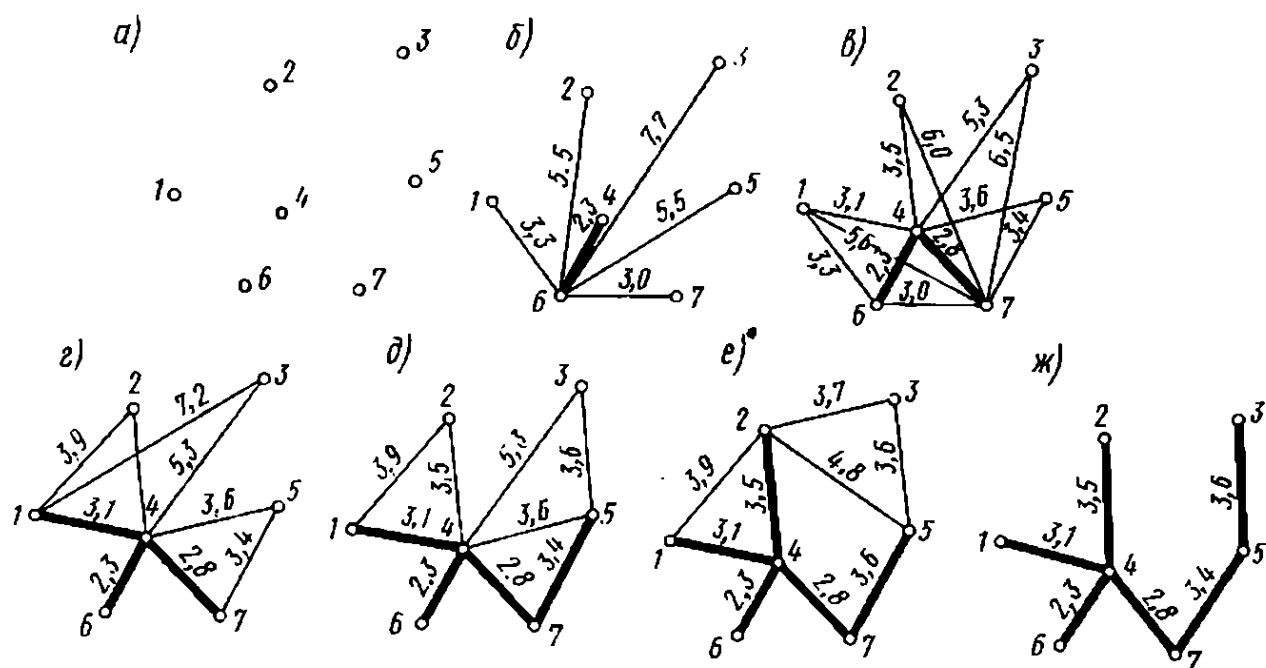


Рис. 12.1

Построение крагчайшей транспортной сети методом Прима:

а — заданное множество центров тяготения; б-- ж — итерации наращивания сети

представляет собой в этом случае звезду с центром G , расположенным в центре тяжести ее вершин.

Следовательно, задача поиска кратчайшей сети должна быть связана с возможностью выбора таких ее узлов, которые могут не совпадать с заданными центрами тяготения, но обеспечивают минимальную длину связей между ними, т. е. рассматриваться в виде обобщенной задачи Штейнера. Однако методы решения последней в общем виде еще не найдены. Естественно, что еще более сложны для полного формализованного решения реальные задачи проектирования, в которых должен учитываться не только критерий минимума длины ТС, но и другие, не менее важные критерии и ограничения.

Это связано с тем, что ТС является прежде всего элементом планировочной структуры города и должна проектироваться совместно с его застройкой по критериям обеспечения бесперебойного функционирования города как многоцелевой системы, в центре которой находится человек. Определяющее влияние на экономические решения ТС в различных районах города оказывает прогнозируемая интенсивность использования (плотность посещаемости) элементов городской территории (жилых районов, промышленных зон и др.), требования надежности (бесперебойности) работы в аварийных ситуациях (при выключении отдельных звеньев сети), универсализации (приспособляемости к изменениям пространственного распределения движения в городе без реконструкции или с минимальными затратами на реконструкцию), минимизации приведенных затрат времени населения в передвижениях, экологические соображения.

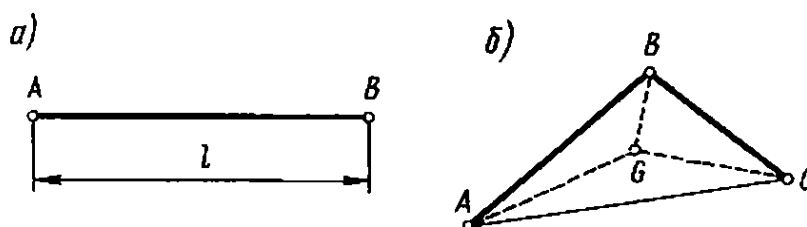
Реальные ТС можно создать только в результате совместного решения вопросов городского движения и застройки, поскольку группировка объектов массового тяготения существенно определяет сеть, и наоборот. Проектными организациями накоплен большой опыт рекомендаций по всем этим вопросам, но методик их однозначного комплексного решения пока еще не создано. По этой причине основой проектирования ТС являются в настоящее время эвристические методы вариантного проектирования с использованием математических методов для решения лишь отдельных фрагментов этой задачи, поддающихся математическому моделированию.

В основу эвристического метода проектирования ТС положен принцип стадийности, т. е. поэтапного решения задачи, который включает в себя:

1. Проектирование основной транспортной системы, связывающей основные пункты транспортного тяготения городского значения (градообразующие предприятия с обслуживающими их жилыми районами), районные центры между собой и с городским центром, городской центр

Рис. 12.2

Кратчайшие связи между двумя (а) и тремя центрами тяготения, образующими треугольник (б)



с аэропортами и др. Обычно основную ТС проектируют как сеть скоростного ГПТ большой провозной способности (метрополитена, скоростного трамвая, экспресс-автобуса и др.). Главное требование к основной транспортной сети — минимальный коэффициент непрямолинейности пассажиропоездов [см. (5.14)]. Экономическая плотность основной ТС обычно невелика (порядка $0,05—0,25$ км/км² в зависимости от видов транспорта), ее линии должны быть вынесены либо в другой уровень относительно поверхности улиц (выполнены в подземном или эстакадном исполнении), либо на обособленное полотно.

2. Проектирование вспомогательной транспортной системы, обеспечивающей транспортную связь всех точек селитебной территории города между собой и с основной транспортной системой. Критериями построения вспомогательной транспортной системы являются: обеспечение требуемого уровня транспортной обслуженности города [см. (5.3)], требуемой зоны пешеходной доступности транспортных линий [см. (3.37)], возможности высокого резервирования, т. е. обеспечения пассажироперевозок в системе при прекращении движения на любом из ее звеньев.

3. Оптимизацию полученной транспортной системы по критериям минимума затрат транспортного времени населения в целевых передвижениях, минимума капиталовложений и эксплуатационных затрат, минимума транспортной работы при заданном объеме пассажироперевозок, оптимального полезного использования подвижного состава по наполнению.

Процесс проектирования ТС неотделим от остального транспортного расчета и представляет собой шаговый процесс с возвратом: последующие стадии расчета уточняют предыдущие. Следует отметить достоинство эвристического метода проектирования — способность человека учитывать в одном обобщающем показателе разнообразные, не сводимые количественно к одному критерию, требования к транспортной планировке. Оптимальная сеть должна удовлетворять ряду различных критериев, в том числе наряду с перечисленными выше критерию максимума надежности (живучести в аварийных ситуациях), постоянства пассажирской нагрузки по всем участкам, архитектурно-градостроительным и др. В настоящее время ведутся исследования возможности формализации эвристической творческой деятельности человека, которые могут привести к появлению в будущем новых методов проектирования городских ТС.

В современных математических методах проектирования ТС, в отличие от эвристических, все этапы проектирования и критерии оценки строго формализованы. Их достоинствами при использовании современной вычислительной техники является сравнительно небольшая трудоемкость и высокая точность (в пределах допущений принятых математических моделей). Основным недостатком современных математических методов проектирования ТС является отсутствие возможности вариантного варьирования несводимыми к одному критерию оптимизации, а также трудности количественного описания влияния развития транспортной системы на формирование пассажирских и транспортных потоков, т. е. прямых и обратных связей между ними. Математические

приемы и вычислительная техника используются для решения лишь тех элементов задачи проектирования ТС, которые поддаются формализации и формальной оптимизации.

Основной математический аппарат, используемый для решения локальных задач проектирования ГТС, — аппарат линейного программирования, в частности транспортных задач линейного программирования, хотя они в большинстве нелинейны. Так, задача синтеза ТС по критерию (12.6) минимума приведенных затрат строительства и эксплуатации является частным случаем нелинейной неоднородной сетевой задачи. Практически ее решают методом приближений: на первой итерации определяют крайнюю сеть, связывающую корреспондирующие пункты, а на последующих проверяют возможности ее дополнения ветвями или замены одних ветвей другими так, чтобы на каждой итерации суммарные затраты Σ уменьшались.

Особое значение для решения сложных транспортно-градостроительных задач, в частности проектирования ТС, имеет использование математического аппарата теории графов, построенного на принципах синтеза методов теории множеств, топологии, комбинаторики и математического программирования. Особенности задачи оптимального проектирования ТС с использованием теории графов состоят в том, что она, в отличие от аналитических методов решения, позволяет ввести пространственные взаимоотношения между элементами ТС в явной и наглядной форме. Использование понятия оптимального радиуса обслуживания транспортного центра, в пределах которого расстояния или затраты времени на передвижения не превышают допустимые, дает возможность разбить заданную сеть (граф) на внутренние замкнутые системы (подграфы) с оптимальными радиусами относительно центра тяготения. Решение ее в такой постановке упрощается и может быть выполнено с использованием известных алгоритмов.

Весьма широко применяют для решения локальных задач синтеза ТС вычислительную технику, которая значительно расширяет возможности вариантного проектирования, позволяет учесть и оптимизировать все необходимые критерии: технико-экономические показатели эффективности капитальных вложений и эксплуатационных затрат; критерии удобства транспортного обслуживания населения, выражающиеся в минимуме затрат транспортного времени населения; ограничения пропускной способности элементов ТС; особенности существующей и проектируемой магистральной улично-дорожной сети, мощности действующих предприятий, емкости жилищных районов и др. Решение может быть построено в виде многоэтапной задачи оптимального программирования, имеющей типовые алгоритмы, реализованные на существующих ЭВМ.

§ 12.4. Принципы проектирования скоростного ГМПТ

Эффективность СТС. Применение скоростных транспортных систем (СТС) обеспечивает:

1. Снижение затрат времени на передвижения, лежащие в области максимальной трудности сообщения, т. е. в области больших величин

1. На этой основе СТС рекомендуют для крупных городов, где максимальная трудность сообщения при использовании уличных видов ГПТ (трамвая, троллейбусов и автобуса) выходит за пределы норм СНиП. Сокращение средней трудности сообщения, обеспечиваемое СТС, при этом практически незначительно, так как доля передвижений большой дальности, на которых СТС используются более эффективно, чем на коротких, в общем объеме передвижений мала (см. рис. 3.10).

2. Повышение провозной способности транспортной системы, благодаря чему внедрение СТС можно рассматривать как резерв повышения провозной способности городских транспортных систем.

3. Повышение привлекательности транспортной системы, повышающей транспортную подвижность городского населения.

4. Повышение экономичности транспортной системы благодаря более интенсивному полезному использованию в СТС подвижного состава в связи с ускорением его оборачиваемости на маршрутах.

5. Снижение интенсивности и повышение скоростей движения уличного транспорта в результате перехода части пассажиров с уличного на скоростной транспорт.

Внедрение СТС способствует развитию новых принципов формирования городской среды и в результате меняет архитектурный облик городов. В связи с развитием СТС увеличивается использование подземного и надземного уровней городского пространства, меняются принципы использования наземного уровня и его назначение. Повышение скоростей движения способствует более эффективному использованию подвижного состава, а при внедрении электрической тяги — снижению транспортного шума и загазованности воздушной среды.

Эффект повышения скорости сообщения в системах скоростного транспорта достигается за счет снижения задержек движения в результате устройства ограждений полосы движения по условиям дорожной безопасности и пересечений в разных уровнях, возможности повышения динамических характеристик подвижного состава (ускорений при пуске, замедлений при торможении, максимальной скорости движения), ликвидации участков ограничения скорости (затяжных уклонов, кривых малых радиусов и т. д.) и увеличения длины перегонов, причем наибольший эффект повышения скорости сообщения в городских условиях обеспечивает увеличение длины перегонов. Как видно из рис. 12.3, увеличение длины перегонов от 0,5 до 1 км обеспечивает повышение скорости сообщения автобусов примерно на 40%, от 1 до 2 км — на 20%, от 2 до 3 км — на 10%. Иначе говоря, эффект повышения скорости сообщения с увеличением длины перегона особенно ощутим при перегонах небольшой длины.

Виды СТС и области их применения. В качестве СТС на ГМПТ в современных условиях используют экспресс-автобус (на магистральных улицах регулируемого движения), скоростной автобус (на магистральных улицах непрерывного движения), скоростной трамвай, метрополитен и внутригородские линии железнодорожного транспорта (железнодорожные диаметры и вводы). Наиболее простым решением, требующим минимальных начальных строительных затрат, является использование экспресс-автобуса на магистралях регулируемого движения и скорост-

ного автобуса на улицах непрерывного движения (УНД) и городских скоростных дорогах (ГСД). Применение этих видов транспорта обеспечивает значительное снижение затрат времени на передвижения. В условиях транспортной перегрузки современных крупных городов это снижение в ряде случаев превышает экономию, достигаемую при использовании индивидуального автомобиля.

В СССР экспресс- и полуэкспресс-автобус в общем транспортном потоке используется в Москве, Днепропетровске, Одессе, Кривом Роге и других городах. ЦНИИП градостроительства рекомендует использование скоростного автобуса в городах с населением до 500 тыс. человек.

Все большее распространение в крупнейших городах нашей страны получает метрополитен. В ближайшем будущем большое развитие будет иметь скоростной трамвай.

Железнодорожный транспорт используется в СССР для внутригородских скоростных пассажироперевозок незначительно. Например, в Москве объем внутригородских пассажироперевозок железнодорожным транспортом составляет немногим более 4%, Харькове — 2%, Киеве — 1,4% и т. д. Эти цифры неоправданно низки. Перспективы использования железнодорожного транспорта в качестве скоростного городского возрастают с территориальным ростом городов. В больших регионах ему не могут быть противопоставлены в настоящее время никакие другие виды транспорта.

Критерии выбора видов СТС. Установившиеся принципы расчета рационального использования скоростных видов ГМПТ в настоящее время отсутствуют. Они должны учитывать планировочные решения городов, требуемые градостроительными нормами затраты времени населения в грузовых передвижениях, размеры пассажиропотоков, современные требования к охране окружающей среды, динамику взаимного влияния расселения на характеристики транспортных систем и характеристик транспортных систем на расселение, экономический эффект и др. Методологические принципы проектирования сетей скоростного ГМПТ

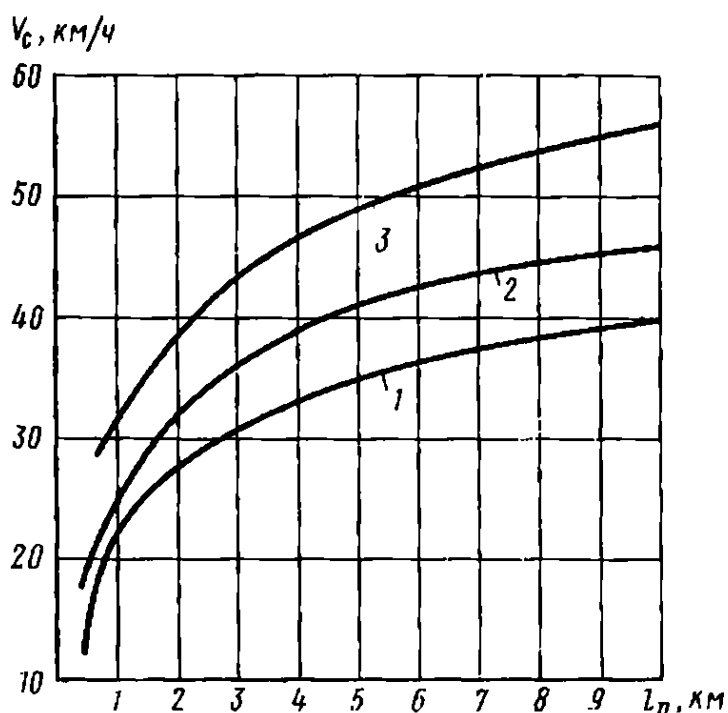


Рис. 12.3

Зависимость скорости сообщения v_c от длины перегона l_n :

1 — автобус, 2 — трамвай, 3 — метрополитен

основаны на том, что назначение скоростного и обычного (подвозящего и развозящего) ГПТ в принципе различно. Основное назначение скоростной системы ГМПТ состоит в обеспечении кратчайших межрайонных связей и связей районов с основными городскими центрами транспортного тяготения при трудности сообщения, не превышающей градостроительных норм. Погрешность в скоростном ГПТ возникает в принципе только тогда, когда использование обычных видов ГПТ не дает возможности уложиться в эти нормы. Что же касается обычных видов ГПТ, то их проектирование имеет целью обеспечения заданной градостроительными нормами транспортной обслуженности населения по показателю пешеходной доступности транспортных линий.

В единой городской транспортной системе, включающей обычные виды ГМПТ и СТС, использование СТС может осуществляться по разным схемам:

1) пешеходный подход от двери пункта отправления ПО к станциям СТС — поездка в пределах СТС — пешеходный подход от станции СТС к двери пункта назначения ПН (без использования подвозящего и развозящего транспорта);

2) пешеходный подход от двери ПО к остановкам обычного (подвозящего) ГПТ — проезд до станции СТС — поездка в пределах СТС — пешеходный подход от станции СТС к двери ПН (использование подвозящего транспорта «с одного конца»);

3) пешеходный подход от двери ПО к остановкам обычного (подвозящего) ГПТ — проезд до станции СТС — поездка в пределах СТС — проезд от станции СТС до станции назначения на развозящем ГПТ — пешеходный подход к двери ПН (использование подвозящего транспорта «с двух концов»).

Способ передвижения (пешеходное, транспортное) и вид ГПТ (обычные наземные или скоростные) выбирается пассажирами под влиянием комплекса факторов, определяющих в совокупности «привлекательность» разных видов транспорта: требующихся затрат времени на передвижение; частоты и регулярности движения; длины поездки; наполнения подвижного состава; уровня комфортабельности; безопасности движения и др. Однако главным из них в грузовых поездках при прочих равных условиях является уровень требующихся затрат транспортного времени. По Г. В. Шелейховскому, например, показатели популярности составляют: метрополитена — 100, скоростного трамвая — 85, такси — 75, троллейбуса и автобуса — 70, трамвая — 65. Иначе говоря, скоростные виды транспорта более привлекательны. Поэтому в качестве условия выбора пассажирами СТС в первом приближении принимают критерий затрат транспортного времени:

$$t_{\text{СТС}} \leq t_y, \quad (12.8)$$

где $t_{\text{СТС}}$ и t_y — трудность сообщения на пути между ПО и ПН с использованием соответственно СТС и уличных видов ГПТ.

Преобладающими при наличии СТС являются поездки второй схемы с использованием транспорта «с одного конца». По этой схеме (без приведения по коэффициентам популярности) общие затраты времени на передвижение

$$t_{\text{СТС}} = t'_{\text{пеш}} + 0,5t_{\text{н.у}} \varepsilon_{\text{р.у}} + l_y/v_{\text{с.у}} + (t_{\text{пер}} + 0,5t_{\text{н.ск}} \varepsilon_{\text{р.ск}}) + \\ + l_{\text{ск}}/v_{\text{с.ск}} + t''_{\text{пеш}}, \quad (12.9)$$

где $t'_{\text{пеш}}$ — затраты времени на пешеходный подход от «двери» ПО до остановки подвозящего ГПТ; $0,5t_{\text{н.у}} \varepsilon_{\text{р.у}}$ — затраты времени на ожидание поезда подвозящего ГПТ; $t_{\text{н.у}}$ — интервал движения; $\varepsilon_{\text{р.у}}$ — коэффициент нерегулярности; $l_y/v_{\text{с.у}}$ — затраты времени на движение по сегу подвозящего ГПТ к станции СТС; l_y — расстояние передвигания; $v_{\text{с.у}}$ — скорость сообщения; $t_{\text{пер}}$ — затраты времени на пешеходное передвигание между остановкой подвозящего ГПТ и станцией СТС; $0,5t_{\text{н.ск}} \varepsilon_{\text{р.ск}}$ — время ожидания поездов СТС; $t_{\text{н.ск}}$ — интервал движения; $\varepsilon_{\text{р.ск}}$ — коэффициент нерегулярности; $l_{\text{ск}}/v_{\text{с.ск}}$ — затраты времени на движение по сегу СТС к ПН; $l_{\text{ск}}$ — расстояние передвигания; $v_{\text{с.ск}}$ — скорость сообщения; $t''_{\text{пеш}}$ — затраты времени на пешеходный подход от станции СТС к двери ПН.

При использовании в тех же поездках только уличных видов ГПТ длина поездки l_y может быть иной, причем обычно меньшей, чем при использовании СТС. В этом случае трудность сообщения:

$$t_y = t'_{\text{пеш}} + 0,5t_{\text{н.у}} \varepsilon_{\text{р.у}} + l_y/v_{\text{с.у}} + t''_{\text{пеш}}. \quad (12.10)$$

Расчеты по критерию затрат транспортного времени (12.8) позволяют установить коэффициенты пользования скоростным ГПТ (и следовательно, распределение пассажироперевозок между обычным и скоростным ГПТ) как функции $\varphi_{\text{ск}}(t_{\text{ск}}/t_y)$ отношения затрат транспортного времени в поездках с использованием СТС ($t_{\text{ск}}$) и уличных видов ГПТ (t_y). Зависимости $\varphi_{\text{ск}}(t_{\text{ск}}/t_y)$ по данным исследований в США (кривая 1) и Д. С. Самойлова (кривые 2—4) показаны на рис. 12.4, а. Минимальная дальность передвиганий l , при которой наблюдается эффект сокращения затрат времени на СТС в сравнении с обычными видами ГПТ, зависит от отношения скоростей сообщения $v_{\text{ск}}/v_{\text{с.у}}$ скоростных и обычных видов ГПТ; доступности станций СТС; частоты движения на линиях СТС и обычных видов ГПТ; плотности транспортной сети СТС и др. В настоящее время $l \approx 5$ км. Использование подвозящего транспорта в передвижениях к станциям СТС становится выгодным по критерию экономии затрат времени при $l \geq 0,6 \div 0,65$ км. В системе «скоростной + подвозящий транспорт» с дальностью поездки на подвозящем с одного конца в пределах 2—4 км использование СТС становится выгодным при минимальной дальности передвижений $l = 7 \div 10,5$ км, а при использовании подвозящего транспорта с двух концов — при $l = 10,5 \div 15,5$ км. Объемы пассажироперевозок с такими дальностями передвижений сравнительно невелики, в результате чего СТС могут иметь достаточную загрузку только в крупнейших городах. По этой же причине они не могут обеспечить резкого снижения средних затрат времени на передвижение по городу в целом. Главный эффект от внедрения СТС — в снижении предельной, а не средней грудности сообщения и возможности резкого повышения провозной способности на перегруженных линиях ГПС.

На рис. 12.4, б показаны зависимости длины поездки $l_{\text{ск}}$ на скоростном транспорте (с линиями наземного или мелкого заложения), от требуемой длины поездки l_y к станциям СТС на подвозящем уличном

транспорте и длины перегонов $l_{п.ск}$ скоростного транспорта по данным исследований М. Я. Сницаря [26]. Точки пересечения прямых с осью $l_{ск}$ соответствуют длине поездки на скоростном транспорте без использования подвозящего, поскольку для них $l_y = 0$.

Экономически выгодный удельный среднесуточный пассажирооборот [тыс. пасс-км/(км·сут)] для скоростных видов МПТ составляет [7]: метрополитена глубокого заложения — 200—220, метрополитена мелкого заложения — 150—160, метрополитена в подземно-наземном исполнении — 100—110, скоростного трамвая в тоннеле — 140—160, наземных линий скоростного трамвая — 70—80, скоростного автобуса на выделенной полосе движения — 60—70.

Модели расчетов СТС. Методы проектирования сетей СТС [26], как и сетей обычных видов ГМПТ, делят на статические и динамические (рис. 12.5). Основные недостатки этих методов указаны на рисунке цифрами в кружочках:

- 1 — не учитывается зависимость расселения от затрат времени на передвижения;
- 2 — необходимость составления информации по всем вариантам;
- 3 — возможность «просмотра» оптимального (по критерию) варианта;
- 4 — критерий выполним для участков, но не для всей сети;
- 5 — не обеспечивается связность сети скоростного транспорта;
- 6 — не учитывается критерий затрат времени на передвижения;
- 7 — не учитывается критерий требуемой загрузки сети (или линий);
- 8 — не учитывается критерий экономической эффективности затрат;
- 9 — не рассматривается вопрос устройства участков в тоннелях;
- 10 — не обеспечивается однозначность результатов.

Наиболее простые модели первой группы основаны на переборе различных вариантов решений. Их основной недостаток состоит в неопределен-

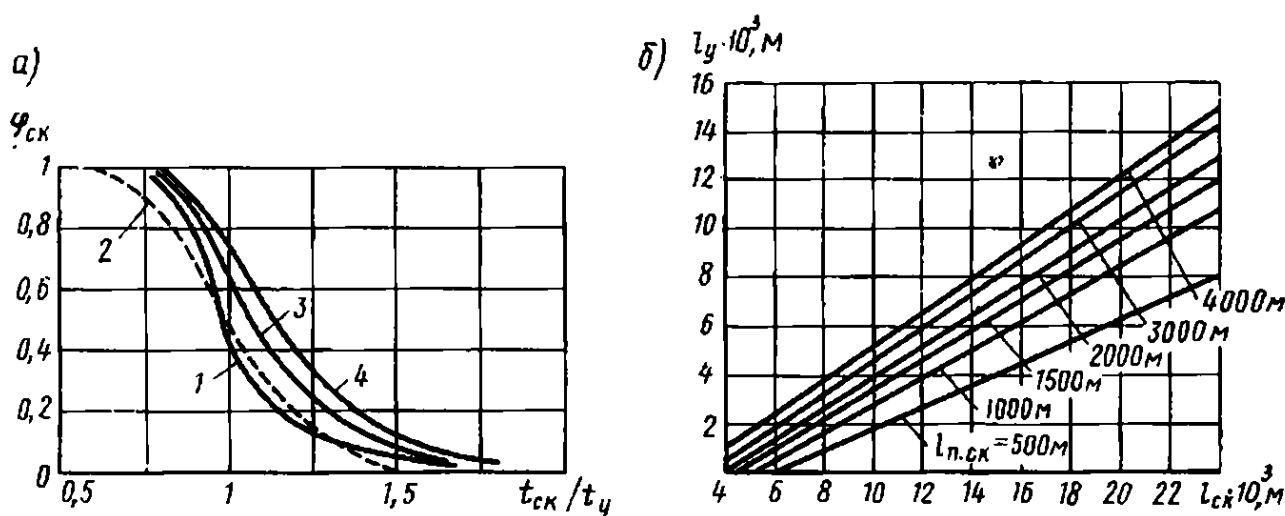


Рис. 12.4

Зависимость коэффициента пользования скоростным транспортом $\varphi_{ск}$ от отношения $t_{ск}/t_y$ затрат транспортного времени в поездках с использованием скоростных и обычных уличных видов ГПТ (а) и оправданной по затратам времени длины поездки l_y к станциям СТС в функции длины поездки $l_{ск}$ на скоростном транспорте и длины перегонов $l_{п.ск}$ между станциями скоростного транспорта (б)

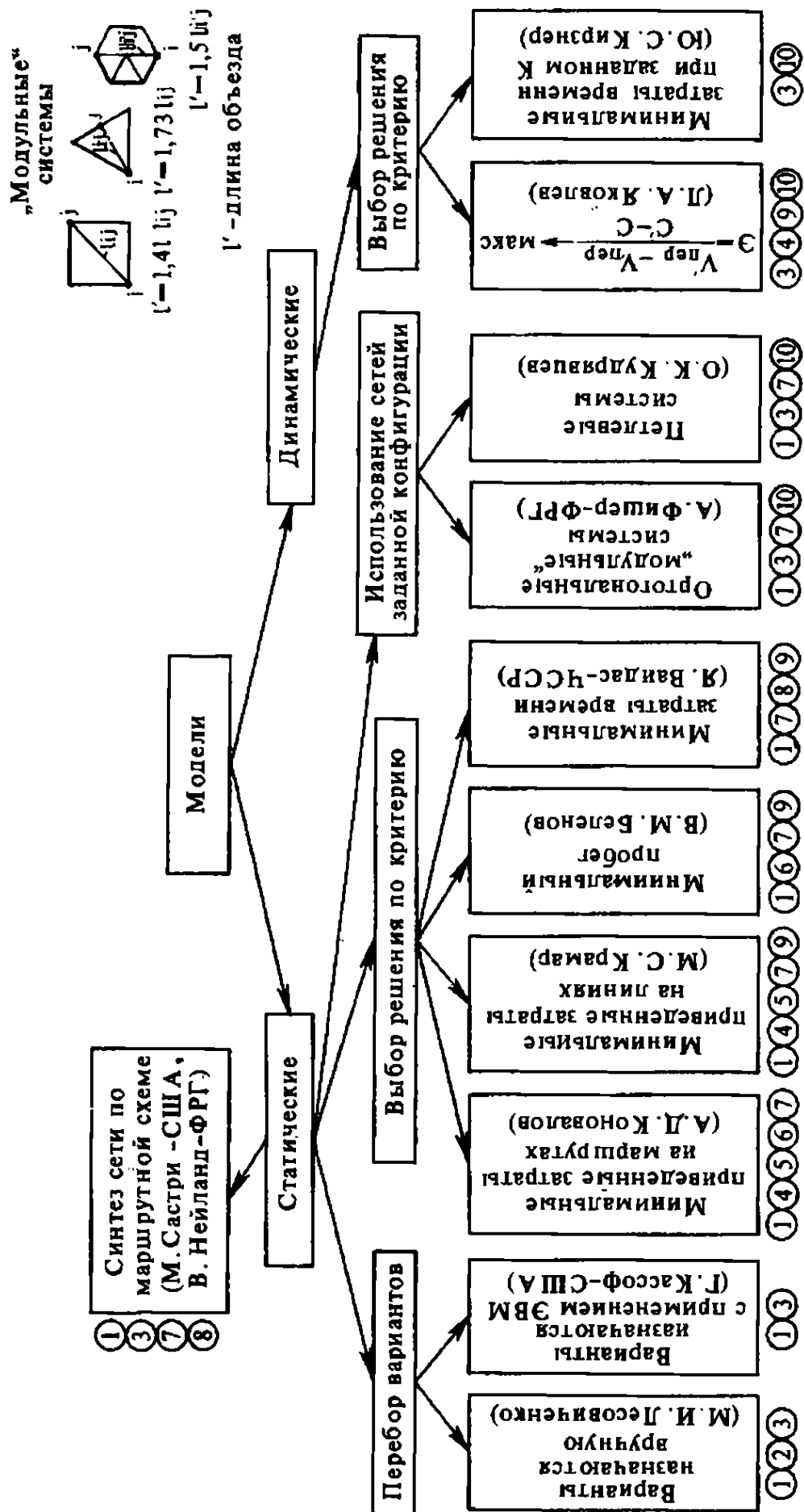


Рис. 12.5

Классификационная схема методов расчета скоростных видов ГМП

ности выбора вариантов, зависящего от интуиции проектировщика, и невозможности уверенного выбора наилучшего. Использование для этой цели ЭВМ позволяет увеличить количество сравниваемых вариантов, что повышает вероятность выбора оптимального решения, но не гарантирует его. Синтез СТС по маршрутной схеме из условия минимальных затрат времени на передвижения (модели М. Састри и В. Нейланда) без учета экономических и других критериев также может привести к большим просчетам. Многочисленная группа моделей выбора СТС по различным критериям оптимизации характеризуется теми же недостатками, что и модели синтеза СТС по маршрутной схеме: все они не гарантируют оптимальности принимаемых решений, так как учет локальных критериев оптимизации не гарантирует общей оптимальности. В работах *О. К. Кудрявцева* и *А. Фишера* рекомендуются «модульные» системы СТС определенной конфигурации. Первый рассматривает разновидности петлевых систем (кольцо, восьмерка, трилистник, двойная восьмерка и др.), второй рекомендует ортогональные системы СТС. В реальных условиях проектирования эти рекомендации неприемлемы, так как не учитывают условия расселения, зонирования и планировки. Общий недостаток статических моделей состоит в том, что они оптимизируют транспортную систему относительно случайного расселения и не учитывают вносимые ею в него возмущения. Поэтому транспортные нагрузки, получаемые этими методами расчета, могут существенно отличаться от фактических.

Идеей динамических моделей расчета СТС является учет вносимых СТС изменений в системе «расселение — тяготение» приведением их в соответствие методом приближений, т. е. в результате многошагового итерационного процесса. Одной из первых работ этого направления являются исследования *Л. А. Яковлева* [5], который предложил метод вариантного проектирования сетей СТС по критерию Э максимума приращения приведенной скорости сообщения $v_{с.пр}$ по сравниваемым вариантам 1 и 2 на единицу приращения стоимости C транспортной работы, имеющему вид:

$$\mathcal{E} = (v_{с.пр1} - v_{с.пр2}) / (C_1 - C_2) = \text{Макс.} \quad (12.11)$$

Идея расчета заключается в переборе на ЭВМ и назначении на СТС таких участков сети городского уличного транспорта, при обслуживании которых скоростным достигается максимальное приращение скорости передвижения на единицу транспортной работы. Эти варианты выдаются ЭВМ как рекомендации, из которых проектировщик выбирает один или несколько с учетом дополнительных не учитываемых моделью соображений: архитектурных, инженерных, геологических, необходимости сноса существующей застройки и др. Перевод участков наземного ГПТ на скоростной режим работы влечет за собой изменение транспортной доступности центров тяготения и соответственно, системы расселение — тяготение. Поэтому принятое решение рассматривают как основу (опорный план) для последующего расчета корреспонденций, который дает возможность выявить дополнительные направления наземной ТС, тяготеющие к переводу в СТС. Таким образом, в модели, рекомендуемой *Л. А. Яковлевым*, СТС komponуется на основе замены

уличного транспорта скоростным в результате шагового процесса расчета на ЭВМ с анализом каждого шага проектировщиком и выбором каждый раз нового улучшенного опорного плана для последующего расчета. Недостатками модели можно считать эвристический поиск участков уличного транспорта, переводимых в СТС, что ограничивает возможности использования ЭВМ, а также отсутствие строгих критериев этого поиска и его окончания.

Определенный интерес представляет также итерационный алгоритм расчетов СТС, предложенный *Б. С. Кирзнером* [27]. Он заключается в синтезе СТС, обеспечивающем минимальные затраты времени на передвижения при заданных капиталовложениях с обоснованием необходимых мероприятий по развитию ТС на расчетный срок и промежуточные этапы. Однако он не обеспечивает однозначного поиска сетей СТС в конкретных градостроительных условиях.

Решение задач оптимального синтеза СТС методами динамического программирования, учитывающими взаимное влияние друг на друга ТС и систем расселения, ограничено необходимостью использования больших объемов памяти, превышающих возможности современных ЭВМ. Поэтому точные методы поиска оптимальных решений, такие, как целочисленное программирование, метод «ветвей и границ» и др., считают непригодными для синтеза достаточно больших сетей. Положение осложняется еще и необходимостью учета большого количества факторов, определяющих выбор строительных решений (заложения) СТС: планировочной структуры города; класса и характеристик его транспортных магистралей; характера окружающей застройки; интенсивности дорожного движения и т. д.

Вследствие многофакторности задачи считают, что математической основой синтеза оптимальных СТС должен быть направленный поиск наилучшего варианта по принятым критериям эффективности (заданному удельному весу трудовых передвижений с затратами времени не более $t_{\text{мин}} = \gamma_i = A_i / \sum A_i$; минимуму требующихся капиталовложений и др.). Во всех экономико-математических моделях направленного поиска вычислительный процесс организуется так, чтобы переход системы из состояния q в состояние $q + 1$ был связан с увеличением экономического эффекта от $\mathcal{E}_q$ до $\mathcal{E}_{q+1}$ ($\mathcal{E}_{q+1} > \mathcal{E}_q$). Стратегия этого вычислительного процесса пока еще не отработана. Процесс должен моделировать систему «СТС — расселение» в динамике, т. е. основываться на идеях динамического программирования для класса сетевых транспортных задач.

Выбор видов СТС в модели М. Я. Сницаря. Существенным шагом вперед в создании автоматизированных систем проектирования скоростного транспорта является итерационная модель, предложенная *М. Я. Сницарем*. Модель рассчитана на автоматический поиск оптимальных систем СТС разных видов на ЭВМ по информации, определяемой заданием. Для определения потребности в СТС в заданных градостроительных условиях *М. Я. Сницарь* предлагает использовать критерий γ_{40} . При этом потребность в СТС устанавливают вне модели с использованием специальных номограмм, учитывающих населенность города (или его освоенную площадь) и ориентировочно его форму, либо в самой

модели методом обычного транспортного расчета с вычислением γ , (γ_{40} для крупнейших и крупных городов с населением свыше 250 тыс. человек и γ_{30} для остальных). Важно отметить, что потребность в проектировании СТС следует считать обоснованной лишь в том случае, когда величина γ , не обеспечивается улично-дорожной сетью города, имеющей полное расчетное развитие с оптимальной плотностью сетей наземных видов ГМПТ на уровне 2—2,5 км/км² и оптимальной частотой движения с маршрутными интервалами $t_k = 4 \div 6$ мин. Если сеть уличных видов ГМПТ не имеет этих показателей, то по экономическим соображениям целесообразно в первую очередь развивать ее до них и проектировать сеть СТС лишь в том случае, если требуемые величины γ , не могут быть обеспечены уличными видами ГМПТ.

Предварительно виды СТС выбирают вне модели. В первом грубом приближении выбор их определяется населенностью города: метрополитен рекомендуют в городах с населением более 1 млн. человек, скоростной трамвай — в городах с населением от 500 тыс. человек до 1 млн., скоростной автобус — в городах с населением до 500 тыс. человек. Второй степенью приближения является предварительный выбор видов СТС с учетом населенности города и его планировочной структуры. Необходимый для этого график показан на рис. 12.6, из которого следует, что для городов с центричной планировкой и размещением центров тяготения вдоль линий скоростного транспорта (кривая 2) скоростной автобус целесообразен при населенности 0,5—0,64 млн. жителей, скоростной трамвай в наземном исполнении — 0,64—0,96 млн. жителей,

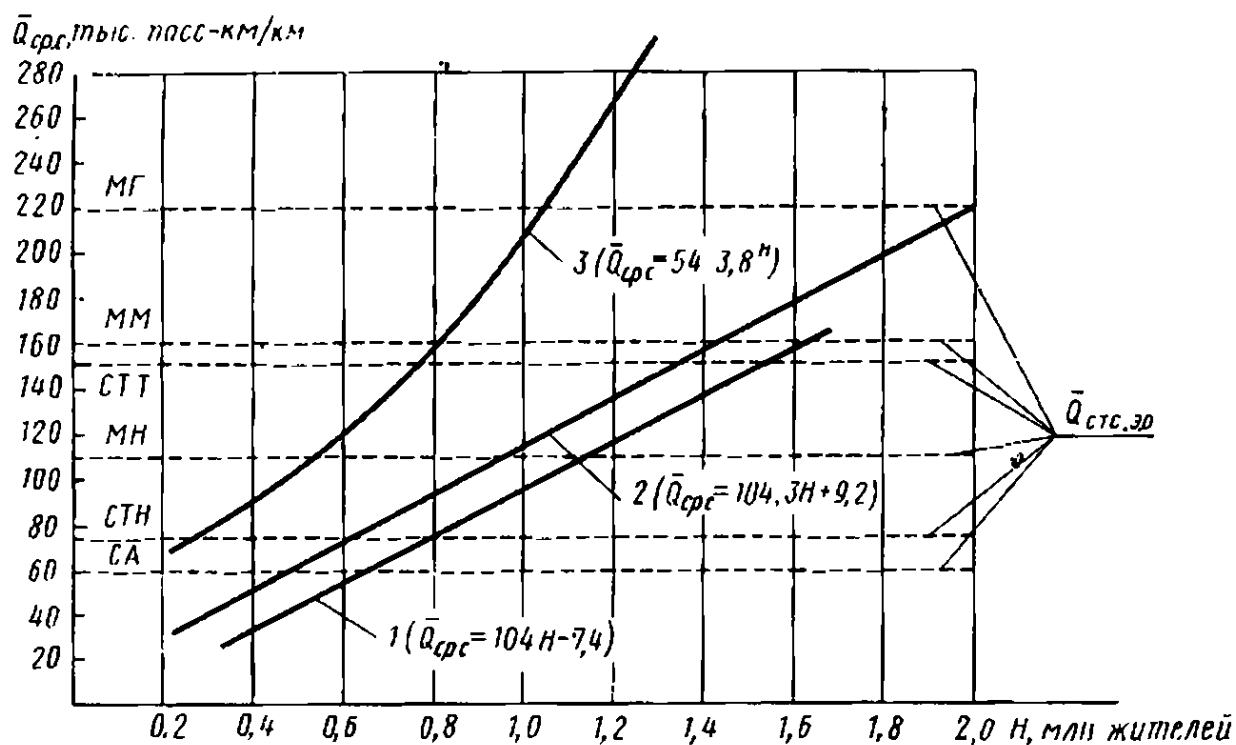


Рис. 12.6

Зависимость удельного среднесуточного пассажирооборота $\bar{Q}_{ср.с}$ от населенности города N при разной планировочной структуре:

СА — скоростной автобус; СТН, МН — скоростной трамвай и метрополитен наземного запожения; СТТ — скоростной трамвай в тоннеле; ММ — метрополитен глубокого запожения; МГ — метрополитен глубокого запожения.

метрополитен в наземном исполнении — 0,96—1,35 млн. жителей, скоростной трамвай в тоннеле — 1,35—1,44 млн. жителей, метрополитен мелкого заложения — 1,44—2,0 млн. жителей. Аналогично определяются области экономического использования СТС и в других случаях: при центричной планировке городов с дисперсным размещением основных фокусов тяготения (кривая 1) и линейной планировочной структуре города с продольным размещением основных фокусов тяготения (кривая 3). Например, в городе с линейной планировкой и продольным размещением основных центров тяготения при населенности 1 млн. жителей (рис. 12.6) можно ожидать удельный среднесуточный пассажирооборот порядка 205 тыс. пасс-км/(км·сут), что определяет возможность выбора для него по критерию экономически допустимого удельного пассажирооборота (пассажиропотока) $\bar{Q}_{\text{СТС},0}$ всех видов СТС, кроме метрополитена глубокого заложения. Расчет в этом случае нужно начинать с вида СТС, отличающегося наивысшей величиной $\bar{Q}_{\text{ср.с}}$, т. е. метрополитена мелкого заложения.

М. Я. Сницарем для уточненного выбора видов СТС на основе регрессионного анализа комплексных транспортных схем крупных городов СССР установлены зависимости, позволяющие однозначно определять приведенный среднесуточный пассажиропоток (удельный пассажирооборот) $\bar{Q}_{\text{ср.с}}$ и максимальный пассажиропоток часа пик $\bar{Q}_{\text{макс}}$ для проектируемого города в функции его населенности N , освоенной площади $F_{\text{осв}}$, длины требующихся сегментов СТС $l_{\text{ск}}$, коэффициента формы освоенной территории α и коэффициента концентрации фокусов транспортного тяготения β [7]:

$$\begin{aligned}\bar{Q}_{\text{ср.с}} = & 370,57 + 106,13N - 0,44F_{\text{осв}} + 1,84l_{\text{ск}} + \\ & + 102,27\alpha - 583,33\beta.\end{aligned}\quad (12.12)$$

$$\begin{aligned}\bar{Q}_{\text{макс}} = & 105,15 + 12,13N + 0,01F_{\text{осв}} + 0,1\sqrt{l_{\text{ск}}} + \\ & + 8,51\alpha - 127,94\beta.\end{aligned}\quad (12.13)$$

Сопоставление полученного для заданного города расчетом по (12.12) приведенного среднесуточного пассажиропотока $\bar{Q}_{\text{ср.с}}$ с минимальными экономически оправданными пассажиропотоками $\bar{Q}_{\text{з.о}}$ разных видов скоростного транспорта позволяет выбрать вид скоростного транспорта, приемлемого в рассматриваемых условиях по экономическим соображениям, а пассажиропотока часа пик $\bar{Q}_{\text{макс}}$, полученного по (12.13), с провозной способностью B выбранного вида скоростного транспорта — оценить его технические возможности реализации максимальных пассажиропотоков и выбрать требующиеся для этого типы подвижного состава и составность поездов.

Входящие в (12.12) и (12.13) величины N и $F_{\text{осв}}$ заданы генеральным планом города, коэффициенты α и β определяют по методике А. М. Якина (см. § 9.2), длину линий скоростной сети $l_{\text{ск}}$ — ориентировочным расчетом из следующих соображений.

Требующаяся приведенная скорость сообщения транспортных средств, обслуживающих пассажироперевозки города:

$$v_{с.треб} = 60L_{ср}/(T_{ср} - t_{нак}), \quad (12.14)$$

где $L_{ср}$ — средняя длина сетевой поездки [определяется в функции площади освоенной территории города по (3.64)]; $T_{ср}$ — средние затраты времени в сетевой поездке (берутся по рекомендациям ЦНИИП градостроительства); $t_{нак}$ — средние накладные затраты времени на пешеходные подходы к остановочным пунктам (с двух сторон), ожидание транспорта и пересадки (принимают 9—11 мин при плотности транспортной сети 2—2,5 км/км² и маршрутных интервалах $t_{в} = 4 \div 6$ мин).

При наличии в городе обычных уличных и скоростных видов транспорта полученная по (12.14) скорость $v_{с.треб}$ должна удовлетворять условию:

$$v_{с.треб} = (v_{сх} l_{сх} + v_y l_y)/L_c = v_{сх} \lambda_{сх} + v_y \lambda_y, \quad (12.15)$$

где $L_c = l_{сх} + l_y$ — длина транспортной сети уличных и скоростных транспортных систем; $\lambda_{сх} = l_{сх}/L_c$, $\lambda_y = l_y/L_c$ — удельный вес скоростной и уличной сетей МПТ города.

Поскольку $\lambda_{сх} + \lambda_y = 1$ и, следовательно, $\lambda_y = 1 - \lambda_{сх}$, из (12.15) можно получить: $v_{с.треб} \geq v_{сх} \lambda_{сх} + v_y(1 - \lambda_{сх})$, откуда

$$\lambda_{сх} = (v_{с.треб} - v_y)/(v_{сх} - v_y), \quad (12.16)$$

Учитывая, что $\lambda_{сх} = l_{сх}/L_c$, и задаваясь оптимальной плотностью транспортной сети $\delta = L_c/F_{осв}$, можно найти требующуюся длину скоростной сети

$$l_{сх} = \lambda_{сх} L_c = \lambda_{сх} \delta F_{осв}. \quad (12.17)$$

Учитывая реальную скорость строительства сетей СТС того или другого вида в километрах в год (на основании данных градостроительной практики) можно установить примерный расчетный срок полного развития выбранной сети СТС и планировать этапность ее строительства по плановым периодам (пятилеткам и годам).

Алгоритм синтеза сети СТС на ЭВМ. После предварительного выбора видов СТС ставится задача построения их ТС. В отличие от эвристических моделей, требующих полного предварительного проектирования ТС в многочисленных вариантах с их последующим сравнением методом перебора, в модели М. Я. Сницаря требуется задать только «полигон», на котором ЭВМ будет синтезировать сеть однозначно. Чем при этом принятый полигон избыточнее, тем выбранный ЭВМ вариант сети СТС будет ближе к оптимальному. Таким образом, метод перебора, требующий при достаточно большом количестве вариантов огромных затрат машинного времени, заменяется в этой модели однозначным направлением поиском оптимальной ТС на принятом полигоне при несравненно более низких затратах машинного времени. В отличие от эвристического метод обеспечивает полную однозначность принимаемых решений. Выбор полигона определяется рассматриваемым видом СТС. Для скоростного автобуса в него вводят существующие и проектируемые УНД и ГСД, причем проектируемая сеть УНД и ГСД может быть задана максимально избыточной, т. е. соединять кратчайшими связями

все главные центры транспортного тяготения города. При проектировании метрополитена в полигон вводят магистральные улицы и дороги улично-дорожной сети, допускающие прокладку линий мелкого или наземного заложения, и избыточную сеть кратчайших связей главных центров транспортного тяготения, допускающую глубокое, а на отдельных участках — мелкое или наземное заложение. Наземное заложение могут иметь периферийные участки этой сети, мелкое — совпадающие с магистральными улицами и глубокое — проходящие под застройкой. Полигон сетей скоростного трамвая составляют из сети магистральных улиц и дорог, пригодных для прокладки его трасс, участков в тоннелях преимущественно мелкого заложения в центральной зоне города и вылетных линий на обособленном полотне в периферийных районах. Задача проектировщика на стадии задания машине полигона для синтеза СТС состоит в том, чтобы он был разумно избыточным для гарантии выбора машиной оптимальных СТС. С другой стороны, из него с целью сокращения трудоемкости подготовительных работ необходимо исключить все те из кратчайших связей, которые реально неосуществимы (требуют, например, сноса дорогостоящей существующей застройки).

Таким образом, вводимый в ЭВМ полигон для синтеза сетей СТС составляют участки улично-дорожной сети, потенциально пригодные для трассирования линий СТС рассматриваемого вида, и избыточная сеть кратчайших связей основных центров транспортного тяготения города. Если прорабатывается вариант синтеза сетей не одного, а двух или более видов скоростного транспорта, то соответствующие полигоны, состоящие каждый из двух сетей — улично-дорожной и сети кратчайших связей, составляются для каждого из рассматриваемых видов СТС. Математическое обеспечение транспортного расчета в сетевой форме [6], использованное в модели, позволяет вести параллельный синтез до семи сетей, включая и окончательно фиксированные в плане города, например, сети железных дорог (железнодорожные диаметры и глубокие вводы), которые предполагается использовать для городских скоростных пассажироперевозок.

Все участки, вводимые в полигон сетей СТС, тщательно анализируются проектировщиком с целью определения их возможного заложения. Участки, которые можно выполнить только глубоким заложением, получают признак «г», участки мелкого заложения — признак «м» и наземного заложения — признак «н». Правильная индексация участков в соответствии с возможными реальными условиями их заложения имеет очень большое значение, так как определяет весь дальнейший расчет и экономичность принимаемых вариантов СТС.

Схема алгоритма направленного поиска сети СТС в пределах принятого полигона показана на рис. 12.7. Идея его состоит в определении транспортной нагрузки существующей улично-дорожной сети МПТ методами обычного транспортного расчета и распределении ее затем между улично-дорожной сетью МПТ и полигоном потенциально пригодной сети СТС по критерию минимума затрат времени на передвижения. В блоках 1—3 выполняются расчеты пассажирской нагрузки существующей улично-дорожной сети МПТ обычным методом взаимных корреспонденций транспортных районов. В скобках указаны номера программ

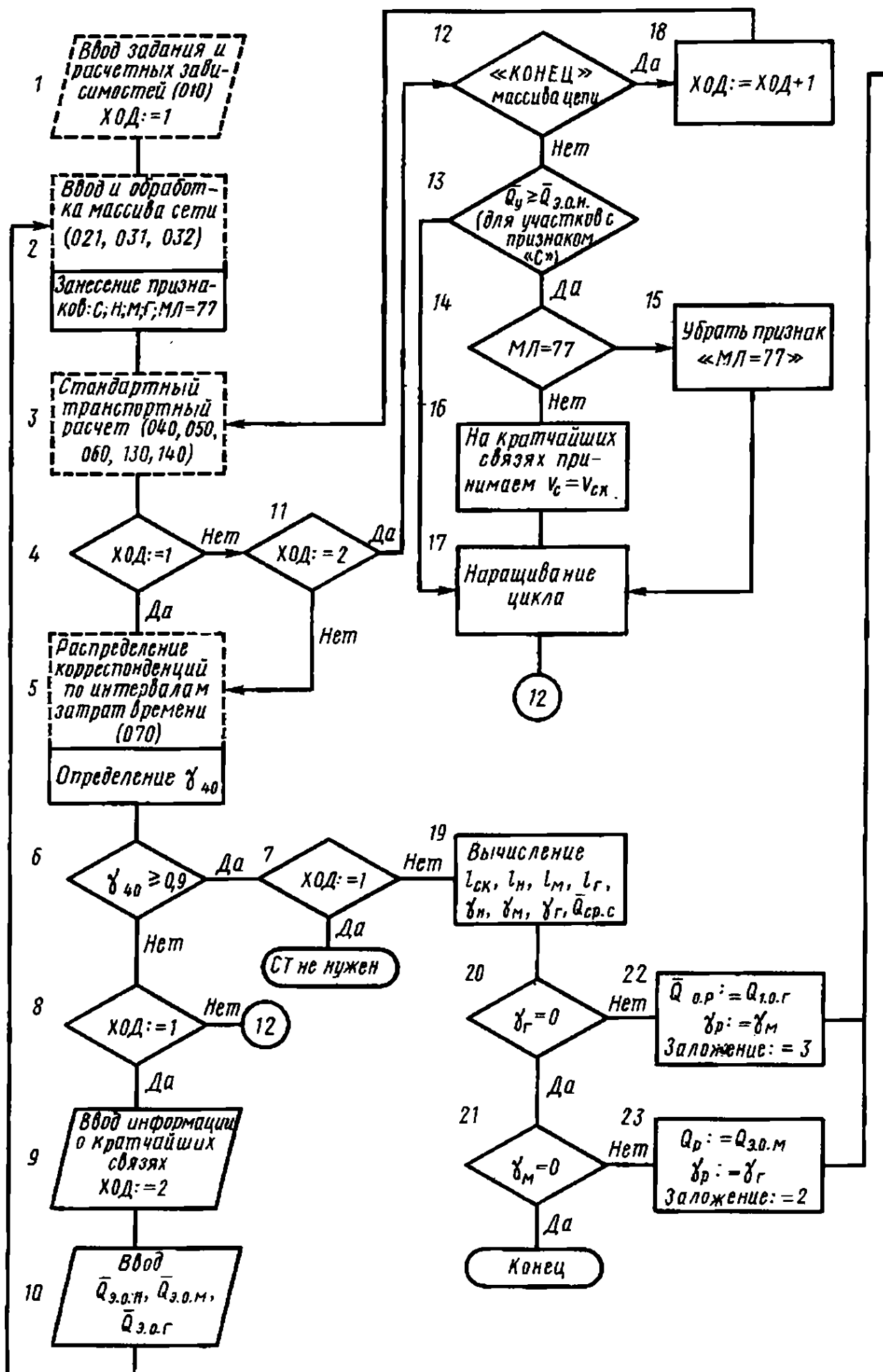
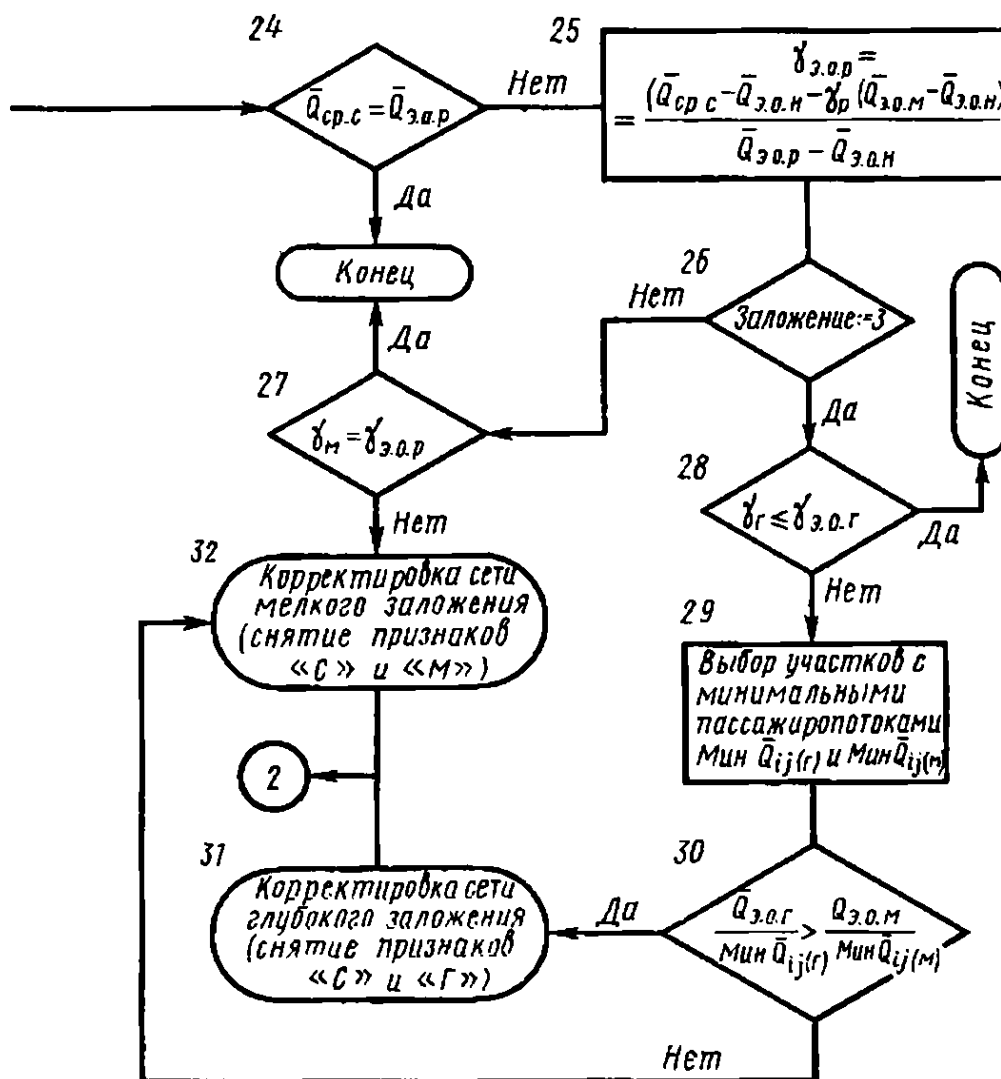


Рис. 12.7



этого расчета, выполняемого в сетевой форме по методике ЦНИИП градостроительства [6]. В блоке 1 расчету присваивается стадия «Ход-1», а в блок 2 в массив данных об улично-дорожной сети вводится дополнительная информация в виде признаков «С» для тех участков ее, которые потенциально допускают прокладку линий выбранного вида СТС, и признаков допускаемого градостроительными условиями заложения этих участков. Таким образом, в блоке 2 формируется информация о полигоне участков улично-дорожной сети МПТ, потенциально пригодных для включения в СТС. Одновременно этим же участкам присваивается признак «МЛ-77» запрещения передачи на них пассажиропотока с улично-дорожной сети.

Если после выполнения расчетов, содержащихся в блоках 1—3, расчет еще не вышел из стадии «Ход-1», то в блоке 5 полученные корреспонденции распределяются по интервалам затрат времени (программа С70) и рассчитываются величины γ_{40} или γ_{30} . В логическом блоке 6 величина γ_{40} сравнивается с нормативной. Если окажется, что $\gamma_{40} \geq 0,8 \div 0,9$ (при расчетах СТС на ближайшую перспективу принимают $\gamma_{40} = 0,8$, на отдаленную — 0,9), а расчет все еще имеет признак стадии «Ход: = 1», то делается вывод, что в заданных транспортно-градостроительных условиях скоростной транспорт не нужен, и расчет заканчивается выдачей рекомендаций по развитию существующей улично-дорожной сети МПТ. Однако этот вариант маловероятен, так как отсутствие условия $\gamma_{40} <$

$<0,8 \div 0,9$ означает ошибочность исходных посылок определения потребности в СТС.

Если условие $\gamma_{40} \geq 0,9$ или $\gamma_{40} \geq 0,8$ (в зависимости от целей расчета) не соблюдается, а расчет еще не вышел из стадии «Ход: = 1», то делается вывод, что СТС нужна. В этом случае кроме потенциально пригодной улично-дорожной сети в полигон для синтеза сети СТС в блоке 9 вводится избыточная сеть крайних связей главных центров транспортного тяготения города и последующей стадии расчета присваивается метка «Ход: = 2». В блоке 10 в ЭВМ вводится информация о гребующихся для выбранного вида СТС минимальных экономически оправданных пассажиропотоках на линиях или участках наземного, мелкого и глубокого заложения (соответственно $\bar{Q}_{з.о.н.}$, $\bar{Q}_{з.о.м.}$ и $\bar{Q}_{з.о.г.}$). В блоке 2 эти данные обрабатываются, участкам полигона потенциально пригодной сети СТС присваиваются признаки «с» и «н», «м» или «г». Особенность заключается в том, что участки полигона крайних связей, включаемых в потенциально пригодную сеть СТС, не получают признака «МЛ-77». Благодаря этому при выполнении в блоке 3 следующего стандартного транспортного расчета пассажиропотоки наземной улично-дорожной сети распределяются уже по двум транспортным сетям — той же улично-дорожной и вновь введенной потенциально пригодной кратчайшей в предположении, что и та и другая работают со скоростями уличного МПТ. После выполнения этого расчета логическая проверка в блоке 4 покажет, что стадия расчета уже не соответствует метке «Ход: = 1». Происходит переход к логическому блоку 11. Если последний подтверждает, что расчет находится в стадии «Ход: = 2», то начинается процедура поиска «конца» массива сети (блок 12) — распределения пассажиропотоков между улично-дорожной сетью и полигоном потенциально пригодной сети СТС по критерию минимума затрат времени на передвижение, в результате которого участки полигона отбираются в сеть СТС и последняя проходит процесс итерационного наращивания. Суть этой процедуры состоит в следующем. В блоке 13 фактическая транспортная нагрузка $\bar{Q}_{ij}$ участков l_{ij} улично-дорожной сети и полигона потенциально пригодной сети СТС, имеющих признак «с», сравнивается с допустимой экономически оправданной $\bar{Q}_{з.о.н.}$ для участков наземного заложения (если полигон, принятый для синтеза сети СТС, имеет такие участки). В общем же случае $\bar{Q}_{ij}$ сравнивается с экономически оправданной нагрузкой тех участков принятого полигона сети СТС, которые имеют наиболее дешевое заложение — наземное в полигонах с участками «н», «м», «г» или мелкое в полигонах с участками «м» или «г». Это обеспечивает возможности их дальнейшего включения в СТС и ее наращивания. В блоке 15 на участках улично-дорожной сети с $\bar{Q}_{ij} > \bar{Q}_{з.о.н.}$, имеющих признак «МЛ-77» запрещения передачи на них пассажиропотока улично-дорожной сети, этот признак снимается, а в блоке 16 устанавливается скорость сообщения скоростного транспорта $v_{ск}$. Одновременно в СТС включаются и участки крайней сети полигона с $\bar{Q}_{ij} \geq \bar{Q}_{з.о.н.}$. Это выражается в том, что на них также устанавливается скорость $v_{ск}$. Процесс продолжается до тех пор, пока не будут просмотрены все участки с признаком «с». В результате сеть оказывается подготовленной к расчету корреспонденций со скоростями v_y на участках улично-дорож-

ной сети, не имеющих признака «с», и скоростями $v_{ск}$ на полигоне потенциально пригодной сети СТС — участках улично-дорожной и кратчайшей сетей, имеющих признак «с» и нагрузку $\bar{Q}_{ij} > \bar{Q}_{з.о.н.}$. В блоке 18 стадии расчета присваивается метка «Ход: = 3» и в блоке 3 выполняется стандартный транспортный расчет, учитывающий произведенные изменения в системе тяготения. В результате часть пассажиропотока улично-дорожной сети переходит на участки полигона потенциально пригодной сети СТС, которые будут рассматриваться как участки уже сформированной сети СТС. Логическая проверка в блоках 4 и 11 покажет отсутствие признаков стадии «Ход: = 1» и «Ход: = 2». В блоке 5 будет выполнено распределение корреспонденций по интервалам затрат времени и определение величины γ_{40} . Если в логическом блоке 6 проверка полученной сети по критерию $\gamma_{40} \geq 0,8 \div 0,9$ даст результат «Да», то произойдет переход к блоку 19, если «Нет» — переход к блоку 12. В результате перевода на стадии «Ход: = 3» части участков уличной и потенциально пригодной кратчайшей сетей из исходного полигона в сформированную сеть СТС (выражающегося в назначении на них скорости сообщения $v_{ск} > v_y$) произойдут изменения в системе тяготения, приводящие к увеличению нагрузки этих и прилегающих к ним участков улично-дорожной и кратчайшей сетей, входящих в полигон, но еще не переведенных в режим скоростного движения. Поэтому появляется возможность наращивания сети СТС. После ее выполнения в блоках 13—17 осуществляется переход к блоку 18 и расчету присваивается стадия «Ход: = 4». В блоке 3 опять будет выполнен стандартный расчет и переход через блоки 5, 6, 8 и 12 к блокам 13—17 циклического итерационного наращивания сети СТС. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока будет достигнуто условие $\gamma_{40} \geq 0,8 \div 0,9$ или рост сети СТС прекратится.

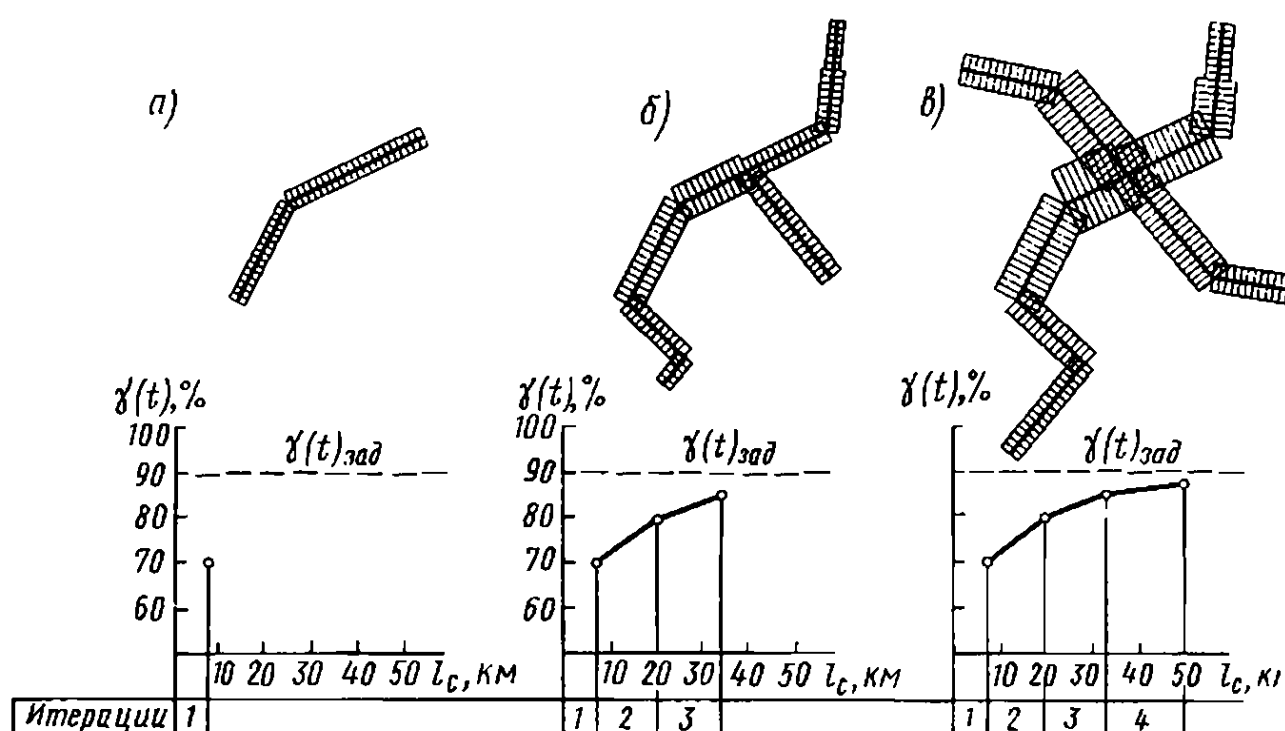


Рис. 12.8

Схема итерационного процесса наращивания сети СТС

Итерационный процесс наращивания сети СТС поясняет рис. 12.8. На первой итерации количество участков полигона потенциально пригодной сети, переводимых в СТС, мало и соответственно мал коэффициент γ_{40} . На последующих итерациях в результате увеличения притока пассажиров по причине изменений в системе тяготения растет γ_{40} и появляются дополнительные возможности развития сети СТС. С увеличением количества итераций темпы роста γ_{40} постепенно замедляются, так как рост протяженности сети СТС по условию $\bar{Q}_{ij} > \bar{Q}_{\text{э.о.н}}$ связан с переводом на нее все большего количества пассажиров. Последнее постепенно уменьшается, что и предопределяет сходимость процесса, т. е. окончание построения сети СТС за конечное количество итераций.

Признак конца расчетов формулируется в виде равенства $l_{\text{СТС}(q+1)} = l_{\text{СТС}q}$ (процесс счета заканчивается, когда на двух итерациях q и $q+1$ протяженность сети СТС не увеличивается).

После достижения условия $\gamma_{40} \geq 0,8 \div 0,9$ от блока 9 (см. рис. 12.7) осуществляется переход к блоку 19, где вычисляются: 1) общая длина полученной скоростной сети наземного l_n , мелкого l_m и глубокого l_r заложений; 2) удельный вес их в общей длине скоростной сети $l_{\text{СК}} (\gamma_n = l_n/l_{\text{СК}}, \gamma_m = l_m/l_{\text{СК}}, \gamma_r = l_r/l_{\text{СК}})$; 3) величина приведенного среднесуточного пассажиропотока $\bar{Q}_{\text{ср.с}}$ на СТС ($\bar{Q}_{\text{ср.с}} = \sum \bar{Q}_{ij} l_{ij}/l_{\text{СК}}$, где c — признак суммирования по всей полученной скоростной сети).

Если в полученную итерационным расчетом СТС войдут только линии наземного заложения, то после логических проверок в блоках 20 и 21 расчет будет закончен. Если $\gamma_r \neq 0$ и (или) $\gamma_m \neq 0$, то необходимо проверить допустимость полученных величин γ_r и γ_m по экономическому критерию, поскольку стоимость линий СТС мелкого и глубокого заложения выше, чем наземных.

Если в сеть СТС входят участки только наземного заложения, то условие ее экономичности может быть записано в следующем виде:

$$\bar{Q}_{\text{ср.с}} > \bar{Q}_{\text{э.о.н}} \quad (12.18)$$

Это условие соблюдается всегда, поскольку синтез скоростной сети производится под контролем блока 15 по условию $\bar{Q}_{ij} \geq \bar{Q}_{\text{э.о.н}}$.

Если в сеть СТС входят участки наземного и мелкого заложения, причем $\bar{Q}_{\text{ср.с}} > \bar{Q}_{\text{э.о.м}}$, то очевидно, что экономичность решения СТС будет обеспечена при любой доле γ_m участков мелкого заложения. Если в этом случае $\bar{Q}_{\text{э.о.н}} < \bar{Q}_{\text{ср.с}} < \bar{Q}_{\text{э.о.м}}$, то величину γ_m необходимо ограничить некоторой экономически допустимой $\gamma_{\text{э.о.м}}$. Экономичность решения СТС будет обеспечена, если транспортная работа на скоростной сети не меньше выполняемой на участках наземного и мелкого заложения: $\bar{Q}_{\text{ср.с}} l_{\text{СК}} \geq \bar{Q}_{\text{э.о.н}} l_n + \bar{Q}_{\text{э.о.м}} l_m$, откуда

$$\bar{Q}_{\text{ср.с}} > \bar{Q}_{\text{э.о.н}} \gamma_n + \bar{Q}_{\text{э.о.м}} \gamma_m \quad (12.19)$$

Учитывая, что в этом случае $l_n + l_m = l_{\text{СК}}$ или $\gamma_n + \gamma_m = 1$ и считая, что (12.19) превращается в равенство при $\gamma_m = \gamma_{\text{э.о.м}}$, получим:

$$\gamma_{\text{э.о.м}} = (\bar{Q}_{\text{ср.с}} - \bar{Q}_{\text{э.о.н}}) / (\bar{Q}_{\text{э.о.м}} - \bar{Q}_{\text{э.о.н}}). \quad (12.20)$$

Для условий метрополитенов при $\bar{Q}_{э.о.н} = 110$ тыс. пасс-км/км и $\bar{Q}_{э.о.м} = 160$ тыс. пасс-км/км зависимость $\gamma_{э.о.н}$ ($\bar{Q}_{ср.с}$) построена на рис. 12.9, а.

Аналогично, если в сеть СТС входят участки наземного, мелкого и глубокого заложения, причем $\bar{Q}_{ср.с} > \bar{Q}_{э.о.г}$, то экономичность решения СТС обеспечивается при любой доле участков глубокого заложения γ_g . Если в этом случае $\bar{Q}_{ср.с} < \bar{Q}_{э.о.г}$, то необходимо ограничивать величину γ_g , а при наличии участков мелкого заложения — и величину γ_m экономически допустимыми $\gamma_{э.о.г}$ и $\gamma_{э.о.м}$. Экономичность СТС при $\bar{Q}_{ср.с} < \bar{Q}_{э.о.г}$ может быть обеспечена при условии: $\bar{Q}_{ср.с} l_{ср} \geq \bar{Q}_{э.о.н} l_n + \bar{Q}_{э.о.м} l_m + \bar{Q}_{э.о.г} l_g$, откуда $\bar{Q}_{ср.с} \geq \bar{Q}_{э.о.н} \gamma_n + \bar{Q}_{э.о.м} \gamma_m + \bar{Q}_{э.о.г} \gamma_g$. Учитывая, что в этом случае $\gamma_n + \gamma_m + \gamma_g = 1$, получаем $\bar{Q}_{ср.с} \geq \bar{Q}_{э.о.н} (1 - \gamma_m - \gamma_g) + \bar{Q}_{э.о.м} \gamma_m + \bar{Q}_{э.о.г} \gamma_g$, откуда

$$\gamma_{э.о.г} = [(\bar{Q}_{ср.с} - \bar{Q}_{э.о.н}) - \gamma_m (\bar{Q}_{э.о.м} - \bar{Q}_{э.о.н})] / (\bar{Q}_{э.о.г} - \bar{Q}_{э.о.н}). \quad (12.21)$$

Условие (12.21) определяет величину $\gamma_{э.о.г}$, когда задано или предварительно определено γ_m , условие (12.20) — величину $\gamma_{э.о.м}$, причем, полагая $\gamma_g = 0$, из (12.21) можно получить условие (12.20), а полагая $\gamma_g = 0$ и $\gamma_m = 0$, — условие (12.18), определяющее возможность прокладки по экономическому критерию линий СТС наземного заложения.

На рис. 12.9, б по (12.21) построена номограмма, позволяющая определять $\gamma_{э.о.г}$ в функции $\bar{Q}_{ср.с}$ при заданной или найденной ранее величине γ_m (или $\gamma_{э.о.м}$ в функции $\bar{Q}_{ср.с}$ при заданной или найденной ранее величине γ_g). Номограмма построена при $\bar{Q}_{э.о.н}$, $\bar{Q}_{э.о.м}$ и $\bar{Q}_{э.о.г}$, соответственно равных 110, 160 и 220 тыс. пасс-км/км. Номограмма дает возможность установить, что если, например, для некоторой СТС $\bar{Q}_{э.о.н}$, $\bar{Q}_{э.о.м}$ и $\bar{Q}_{э.о.г}$ соответственно равны 110, 160 и 220 тыс. пасс-км/км, а $\bar{Q}_{ср.с} = 180$ тыс. пасс-км/км, то максимальная допустимая доля линий ее в тоннелях глу-

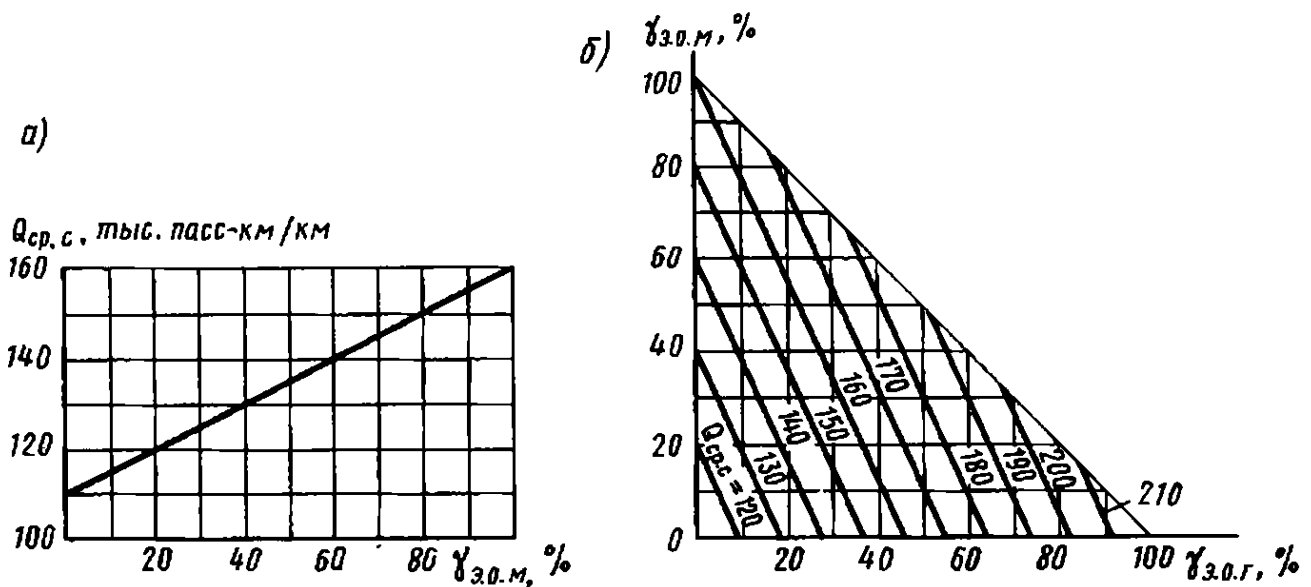


Рис. 12.9

Номограммы для определения экономически оправданного удельного веса участков СТС в тоннелях мелкого (а) и глубокого (б) заложения в функции среднесуточного приведенного пассажиропотока $\bar{Q}_{ср.с}$

бокого заложения по экономическим критериям не может превышать 64% при $\gamma_m = 0$ и, следовательно, линии наземного заложения должны составлять в ней не менее $\gamma_n \geq 100 - \gamma_r = 100 - 64 = 36\%$, а если γ_m равно, например, 30%, то γ_n не должно превышать 50% и, следовательно, линии наземного заложения должны составлять не менее $\gamma_n \geq 100 - \gamma_r - \gamma_m = 100 - 50 - 30 = 20\%$ общей длины скоростной сети.

Вернемся к алгоритму выбора положения СТС в плане города (см. рис. 12.7). Если в рассматриваемых условиях $\gamma_r \neq 0$, то от блока 20 произойдет переход к блоку 22, где расчетному минимальному экономически оправданному пассажиропотоку $\bar{Q}_{з.о.р}$ будет приписана величина $\bar{Q}_{з.о.г}$, а расчетному удельному весу (γ_p) длины сети СТС — величина γ_m . Заложению этого вида присваивается метка 3. В блоке 24 сравнивается приведенный среднесуточный пассажиропоток $\bar{Q}_{ср.с}$ с расчетным $\bar{Q}_{з.о.р} = \bar{Q}_{з.о.г}$. Если $\bar{Q}_{ср.с} \geq \bar{Q}_{з.о.г}$, то полученная доля линий глубокого заложения в общей длине линий СТС допустима и расчет заканчивается. Если окажется, что $\bar{Q}_{ср.с} < \bar{Q}_{з.о.г}$, то потребуются корректировка полученной сети — уменьшение длины участков глубокого или мелкого заложения до экономически оправданной. В блоке 25 будет найдена допустимая γ_i по экономическому критерию $\gamma_r \leq \gamma_{з.о.г}$. Поскольку блок 26 подтвердит в этом случае заложение 3, произойдет переход к блоку 28, где полученная в блоке 19 величина γ_r сравнивается с найденной в блоке 25 $\gamma_{з.о.г}$. При $\gamma_r \leq \gamma_{з.о.г}$ расчет заканчивается. При $\gamma_r > \gamma_{з.о.г}$ в блоке 29 выбираются участки сети мелкого и глубокого заложения с минимальными пассажиропотоками Мин $\bar{Q}_{ij(r)}$ и Мин $\bar{Q}_{ij(m)}$, а в блоке 30 сравниваются с $\bar{Q}_{з.о.г}$ и $\bar{Q}_{з.о.м}$. Решение о корректировке сети принимается в зависимости от их соотношения. Целесообразно исключать из СТС те участки, которые имеют сравнительно меньшую нагрузку по отношению к экономически оправданной. Если $[\bar{Q}_{з.о.г} / \text{Мин } \bar{Q}_{ij(r)}] > [\bar{Q}_{з.о.м} / \text{Мин } \bar{Q}_{ij(m)}]$, то целесообразно корректировать сеть, снимая участки глубокого заложения, а при обратном соотношении — снимая участки мелкого заложения.

Если $\gamma_r = 0$, то от блока 20 произойдет переход к блоку 21, а от него при $\gamma_m \neq 0$ — к блоку 23, в котором величине $\bar{Q}_p$ присваивается значение $\bar{Q}_{з.о.м}$, а γ_p — значение $\gamma_i = 0$. Если после проверки в блоке 24 окажется, что $\bar{Q}_{ср.с} \leq \bar{Q}_{з.о.р} = \bar{Q}_{з.о.м}$, то в блоке 25 будет найдена экономически оправданная величина $\gamma_{з.о.р} = \gamma_{з.о.м}$ и через блок 26 осуществлен переход к блоку 27. При $\gamma_m \leq \gamma_{з.о.м}$ расчет заканчивается. В противном случае машина укажет на необходимость корректировки полученной сети мелкого заложения. Последняя, как и корректировка сети глубокого заложения, предусматривает ликвидацию признака «с» на исключаемых участках СТС, а также прилегающих к ним участках с нагрузкой, превышающей нагрузку Мин $\bar{Q}_{ij(r)}$ или Мин $\bar{Q}_{ij(m)}$ в пределах до 20%. Это позволяет гарантировать исключение из синтезированной СТС тех участков, которые могли попасть в нее в связи с погрешностями транспортного расчета, принимаемыми на уровне 15—20%.

Если синтезированная транспортная сеть СТС подверглась корректировке хотя бы на одном из участков, то всю ее ликвидируют. Поэтому от блоков корректировки сети 31 и 32 осуществляется переход к блоку 2 ввода исходных данных для последующего этапа расчета. Важно при

этом подчеркнуть, что снятие в блоках 31 и 32 признака «с» с мало нагруженных участков улучшает массив исходных данных по полигону потенциально пригодных для СТС сетей и тем обеспечивает построение на последующем этапе расчета более приемлемой СТС по экономическим соображениям. Расчет продолжается до выполнения условий блоков 27 и 28.

Особенности модели. Важно подчеркнуть три обстоятельства:

1. Поскольку при заданных величинах $\bar{Q}_{ср.с}$ и $\bar{Q}_{макс}$ возможен выбор разных видов СТС, полученную расчетом СТС нужно рассматривать лишь как один из возможных вариантов. Меняя исходные данные (принятые виды скоростного транспорта), по этой же методике нужно просчитать все возможные (обычно два-три) варианты СТС, обеспечивающие соблюдение условий $\gamma_{40} \geq 0,8 \div 0,9$ и выбрать из них тот, который отличается минимальными капиталовложениями и расчетными сроками строительства.

2. Если выбранный вид СТС не удовлетворяет критерию γ_{40} , необходимо выбрать два вида СТС, например метрополитен и скоростной автобус или скоростной трамвай и скоростной автобус, наметить для них полигоны потенциально пригодных сетей и провести параллельный синтез их сетей в пределах принятых полигонов. Использование для синтеза СТС видов скоростного транспорта, требующих сравнительно небольших капиталовложений, обеспечивает возможность значительного повышения критерия γ_{40} . В крупнейших городах и агломерациях для обеспечения требуемой величины γ_{40} при одновременном удовлетворении экономических требований могут потребоваться даже три разных СТС.

3. После синтеза СТС вплоть до выполнения условий блоков 27 и 28 уличная сеть МПТ оказывается загруженной пассажиропотоками не полностью, так как из полигона кратчайших связей, заданных в блоке 9, в СТС войдет только часть участков с $\bar{Q}_{ij} > \bar{Q}_{СТСэ.о}$. Пассажиропоток остальных участков полигона нужно передать снова на сеть уличного МПТ. Для этого необходимо провести еще один транспортный расчет, где оставшийся полигон кратчайших связей ликвидируется, а его пассажиропотоки передаются на примыкающую к нему сеть уличного МПТ. Эта процедура вызывает некоторые изменения в системе тяготения, которые могут отразиться на величине пассажиропотоков участков скоростной сети, примыкающих к улично-дорожной, но они оказываются незначительными и не требуют ее корректировки.

Планирование капиталовложений и сроков строительства СТС. Важным преимуществом итерационной модели синтеза сетей СТС является возможность планирования обеспечиваемой доли передвижений с затратами времени, не превышающими нормативные (γ_{40}), в функции капиталовложений. Фиксируя на каждой итерации расчета («Ход: = 3»; «Ход: = 4», «Ход: = 5» величину γ_{40} , формируемую в блоке 6, а также величины $l_{ск}$ и γ_n , γ_m , γ_r , при известных значениях капиталовложений в проектируемую сеть СТС, отнесенных к единице длины сети с различным заложением, можно определить для каждой итерации величину требуемых капиталовложений

$$K = l_{ск} (K_n \gamma_n + K_m \gamma_m + K_r \gamma_r), \quad (12.22)$$

где K_n , K_m и K_r — стоимость одного километра сети СТС рассматриваемого вида в вариантах наземного, мелкого и глубокого заложений.

Используя (12.22), можно построить для рассматриваемых условий зависимость $\gamma_{40}(K)$ (рис. 12.10). На рисунке точка 1 указывает величину $\gamma_{40} = 0,6$ для некоторой транспортной сети на момент разработки перспектив ее развития. Эта величина γ_{40} непринемлемо мала. Точка 2 изображает величину γ_{40} , которую можно достигнуть развитием уличных сетей ГМПТ, и необходимые для этого капиталовложения. Полученная при этом величина γ_{40} также не удовлетворяет требованиям СНиП. Точки 3, 4, 5 и 6 показывают четыре стадии итерационного расчета сети СТС в рассматриваемых условиях, достигаемые на каждой стадии расчета величины γ_{40} и требующиеся для них капиталовложения.

Зависимость $\gamma_{40}(K)$ показывает ярко выраженный рост капиталовложений с увеличением γ_{40} . Минимальных капиталовложений требует увеличение γ_{40} средствами развития улично-дорожной транспортной сети, но в крупных и крупнейших городах последняя неспособна обеспечить γ_{40} на уровне требований СНиП. Капиталовложения, отнесенные к приращению величины γ_{40} , требуемые СТС, значительно выше, чем для улично-дорожных сетей, и быстро возрастают с приближением γ_{40} к величинам, нормируемым СНиП. Капиталовложения, требующиеся для повышения γ_{40} на 0,1 в пределах от 0,8 до 0,9, значительно превышают требующиеся для повышения γ_{40} на ту же величину в пределах от 0,7 до 0,8 и т. д. Это связано с тем, что повышение γ_{40} требует все более сложных транспортных сооружений: обособленного полотна, устройства тоннелей, сложных систем управления движением и др.

Если отпускаемые капиталовложения $K_{зад}$ не соответствуют требующимся для такого развития сети СТС, которое обеспечивает расчетную величину $\gamma_{40} = 0,8 \div 0,9$, то по графику, представленному на рис. 12.10, легко найти величину $\gamma_{40}(K)$, которую они обеспечивают. График позволяет планировать капиталовложения, требующиеся для получения той или другой величины γ_{40} по этапам строительства (пятнелеткам или другим расчетным срокам).

§ 12.5. Маршрутизация транспортных сетей

При маршрутизации на ЭВМ методом Научно-исследовательского института автомобильного транспорта (НИИАТ) транспортную сеть

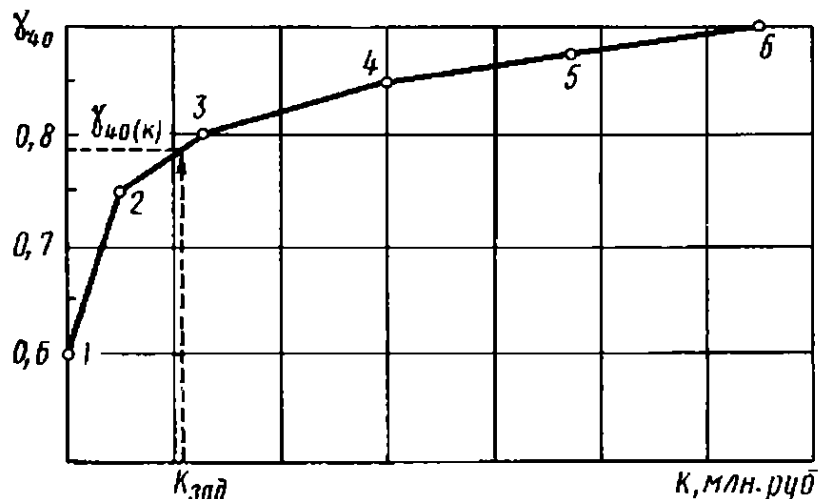


Рис. 12.10

Зависимость требующихся капиталовложений в улично-дорожные и скоростные виды ГМПТ от обеспечиваемого транспортной системой удельного веса пассажироперевозок с затратами времени, не превышающими нормативные

города представляют в виде совокупности узлов (центров микрорайонов) и ребер (улиц или транспортных проездов, по которым организуется или возможно организовать движение ГПТ). Каждому узлу сети приписывают характеристику $t_{\text{пер}}$, равную затратам времени на пересадку в этом узле, а каждому ребру — характеристики t_{ij} и l_{ij} , равные затратам времени на следование и протяженности пути между узлами i и j . Считается известной таблица пассажирских связей между всеми микрорайонами города в расчетный период времени, т. е. величины A_{ij} (количества передвижений между центрами i и j). Расстояния l_{ij} находят непосредственно по заданной ТС, затраты времени на движение между ними $t_{ij} = l_{ij} / v_c$, где v_c — скорость сообщения видов ГПТ, принятых для обслуживания пассажироперевозок. Из всех возможных путей проезда между микрорайонами i и j выбирают пути с наименьшими затратами времени на следование.

В качестве критерия оптимизации выбора маршрутной системы целесообразно принять минимум суммарных затрат времени пассажиров на передвижения, включая пешие, транспортные, ожидания и пересадки, т. е. критерий минимума трудности сообщения. Однако затраты времени на пешеходные передвижения от двери пункта отправления ПО до остановки ГПТ и от остановки до двери пункта назначения ПН зависят не от маршрутной системы, а от плотности ТС. Поэтому из критерия оптимизации их исключают, но он может быть усложнен дополнительными критериями, например, учитывающими стоимость или комфортабельность проезда, если эти дополнительные критерии возможно привести к временной форме. В результате критерий оптимизации получает вид функционала

$$E = \sum^n (t_{ij} + \sum t_{\text{пер}ij}) A_{ij} + \sum^k t_{\text{ож}k} A_k + \sum^c t_{\text{ож}c} A_c + \Delta, \quad (12.23)$$

где n — количество микрорайонов; t_{ij} и $t_{\text{пер}}$ — затраты времени на движение и пересадки в передвижениях между центрами i и j ; A_k — количество пассажиров, пользующихся только маршрутом k ; $t_{\text{ож}k}$ — время ожидания поездов на маршруте k ; A_c — количество пассажиров, имеющих возможность воспользоваться на участках c (участки совмещения маршрутов) любым маршрутом; $t_{\text{ож}c}$ — время ожидания поездов на участках c , определяемое сетевым интервалом; Δ — приведенный к единицам времени функционал, учитывающий дополнительные критерии оптимизации.

Время ожидания поездов маршрутов группы k , равное $t_{\text{ож}k}$, определяют с учетом маршрутного интервала, нерегулярности подхода поездов к остановочным пунктам и возможных отказов пассажирам в посадке по (3.46). Сетевой интервал подсчитывают по (3.43).

Маршруты, составляющие маршрутную систему, делят на три класса: *сквозные* — соединяющие по кратчайшему пути центры трех и более микрорайонов, *участковые* — соединяющие по кратчайшему пути центры двух соседних микрорайонов, и *укороченные* — составляющие часть сквозного маршрута. Конечными пунктами укороченного маршрута могут быть либо два промежуточных, либо один промежуточный и один конечный пункт сквозного маршрута.

С целью сокращения количества сравниваемых вариантов маршрутных систем из расчета исключают:

1. Маршруты между микрорайонами i и j , закрытыми для организации конечных пунктов:

$$i, j \in M_0. \quad (12.24)$$

где M_0 — множество микрорайонов, закрытых для организации конечных пунктов.

2. Маршруты, которые априорно можно считать рациональными и включать в оптимальный вариант маршрутной системы без изменений (их называют заданными):

$$i, j \in M_{\text{зад}}, \quad (12.25)$$

где $M_{\text{зад}}$ — множество заданных маршрутов.

3. Маршруты, которые априорно можно считать не подлежащими включению в оптимальный вариант маршрутной системы по различным соображениям (их называют запрещенными):

$$i, j \in M_{\text{зап}}, \quad (12.26)$$

где $M_{\text{зап}}$ — множество запрещенных маршрутов.

4. Маршруты, не укладывающиеся в допустимые колебания длины:

$$l_{ij} < l_{\text{мин}}; \quad l_{ij} > l_{\text{макс}}, \quad (12.27)$$

где $l_{\text{мин}}$ и $l_{\text{макс}}$ — минимальная и максимальная допустимые длины маршрутов.

5. Маршруты, на которых расчетный интервал движения меньше минимального, допускаемого пропускной способностью, или больше максимального, ограничиваемого допускаемым временем ожидания пассажирами транспорта на остановочных пунктах:

$$i, j \in (t_{ij} < t_{\text{н.мин}}); \quad i, j \in (t_{ij} > t_{\text{н.макс}}). \quad (12.28)$$

6. Маршруты, на которых расчетный коэффициент использования вместимости подвижного состава ниже принятого минимально допустимого:

$$i, j \in (k_{ij} < k_{\text{н.мин}}). \quad (12.29)$$

7. Маршруты с пассажироперевозками, недостаточными по экономическим соображениям:

$$i, j \in [(A_{ij} + A_{ji}) < 2A_{\text{мин}}], \quad (12.30)$$

где A_{ij} и A_{ji} — объем пассажироперевозок между i и j в прямом и обратном направлениях (в расчетный период времени); $A_{\text{мин}}$ — минимальный объем пассажироперевозок, требующийся для открытия маршрута.

Кроме маршрутов, исключаемых из рассмотрения в результате проверки по критериям (12.24) — (12.30), из рассмотрения исключают также все участковые маршруты, совпадающие с заданными сквозными,

принадлежащими множеству $M_{\text{зд}}$. Оставшиеся беспересадочные (сквозные) маршруты проверяют по условию минимума затрат времени на пересадки: сквозной маршрут включают в массив рассматриваемых в том случае, когда сумма затрат времени пассажирами на ожидание транспорта не превышает затрат времени на пересадки:

$$cmT_p/k_{\text{вч.н}} \leq A_{ij\text{макс}} l_{\text{пер}} \quad (12.31)$$

где $c=0,5$ — коэффициент неравномерности подхода пассажиров к остановочным пунктам; m — расчетная вместимость единицы подвижного состава (поезда); T_p — продолжительность расчетного периода суток, для которого решается маршрутная система; $k_{\text{вч.н}} = 1,1$ — коэффициент внутрисуточной неравномерности пассажиропотока; $A_{ij\text{макс}}$ — количество пассажиров, проезжающих между конечными пунктами i и j маршрута в направлении максимального пассажиропотока.

После разделения города на микрорайоны, определения массива маршрутов как кратчайших путей следования между микрорайонами по улицам и дорогам ГПС, исключения из него запрещенных и заданных маршрутов по условиям (12.24) — (12.30) и выделения сквозных по условию (12.31) начинают формирование из числа оставшихся маршрутов и сравнение вариантов маршрутных систем. Для решения этой задачи используют метод комбинаторного анализа с направленным отбором вариантов, который позволяет находить оптимальное решение с вероятностью 0,95—0,98 таким образом, что расхождение найденного решения с оптимальным не превышает 3%. Расхождение уменьшается с увеличением принятого количества микрорайонов, но одновременно с ним прогрессивно растет и гребующийся объем вычислительной работы. Поэтому количество микрорайонов принимают обычно не более 30—50. Для города, разбитого на 40 микрорайонов, расчет одного варианта маршрутной системы на ЭЦВМ с определением характеризующих его показателей занимает довольно много (около 5 мин) машинного времени, расчет 1000 вариантов — более 80 ч машинного времени.

Комбинаторный расчет оптимальной маршрутной системы начинают с выбора исходной схемы, в которую включают заданные априорно, а также удовлетворяющие достаточному условию сквозные маршруты. Кроме того, в исходную схему включают участковые маршруты, не совпадающие ни с одним из принятых сквозных: они обеспечивают (хотя и с пересадками) транспортную связь микрорайонов, не связанных между собой сквозными маршрутами.

Варианты маршрутных систем получают добавлением к исходному одного возможного сквозного маршрута. Все схемы, имеющие один и тот же исходный вариант, образуют одну группу вариантов. В каждой такой группе выбирают схему маршрутов, обеспечивающую пассажирам при соблюдении заданных ограничений наименьшие затраты времени на передвижения. Эта схема становится исходной для следующей группы вариантов. Если при рассмотрении какой-либо группы вариантов не будет найдено ни одной схемы, дающей снижение затрат времени населения на передвижения по сравнению с исходной, то последняя является искомой рациональной. Решение задачи на этом заканчивается.

В целях упорядочения расчетов задача по выбору рациональной схемы маршрутов решается в два этапа. На первом — методом сравнения различных групп вариантов выбирают основную схему, состоящую из сквозных и участковых маршрутов. На втором рассматривают целесообразность оставления в схеме участковых и необходимость введения укороченных маршрутов. Основную маршрутную схему выбирают методом последовательного включения в рациональный вариант лучших сквозных маршрутов по каждому из рассмотренных групп вариантов на основе критерия минимума суммарных затрат времени населения на передвижения.

Целесообразность оставления в схеме участковых маршрутов проверяют по критерию (12.30). Все участковые маршруты, исключение которых из основной маршрутной схемы не влечет за собой увеличения затрат времени населения на передвижения, подлежат закрытию. Проверке подлежат только те участковые маршруты, которые не совпадают со сквозными.

В результате расчетов может быть получена такая маршрутная система, которая не обеспечивает заданного ограничения по минимально допустимому коэффициенту использования вместимости подвижного состава. В этом случае рассматривают возможность включения в маршрутную систему укороченных маршрутов. Введение укороченных маршрутов признают целесообразным в том случае, когда уменьшается требуемое количество подвижного состава, повышается коэффициент использования его вместимости, снижаются затраты времени на ожидание и общие затраты времени пассажиров на передвижения. Введение укороченных маршрутов не должно увеличивать пути следования пассажиров, число поездок и пересадок, затраты времени пассажиров на следование и пересадки, среднюю дальность поездки и количество выполненных пассажиро-километров.

В связи с тем, что на укороченных маршрутах затраты времени пассажиров на ожидание транспорта и соответственно общие затраты времени на передвижения, как правило, возрастают, определить целесообразность их открытия по критерию оптимальности (12.23) невозможно. Поэтому на рассматриваемом этапе расчетов в качестве критерия оптимальности принимают максимум коэффициента использования вместимости подвижного состава, работающего на всех маршрутах, при соблюдении принятых ограничений на заполнения поездов на максимально загруженных участках маршрутов, где максимальное наполнение принимают обычно равным расчетному (коэффициент наполнения равным единице). Формируют и сравнивают маршрутные системы комбинаторным методом с направленным отбором вариантов, постепенно добавляя к основному варианту маршрутной системы укороченные маршруты, отвечающие заданным ограничениям (снижающим суммарные затраты транспортного времени населения).

При решении задачи выбора основного варианта маршрутной системы определяют не только маршруты, включаемые в него, но и маршруты, исключаемые из дальнейших расчетов, например все сквозные маршруты, добавление которых к исходному варианту ведет к увеличению затрат времени пассажиров на передвижения, а также все участко-

вые и укороченные маршруты, совпадающие с вошедшими в него сквозными маршрутами. В результате этого количество сравниваемых маршрутных систем в каждой последующей группе вариантов оказывается меньшим, чем в предыдущей. Благодаря применению комбинаторного метода с направленным отбором вариантов количество сравниваемых маршрутных систем снижается настолько, что задача становится разрешимой при сравнительно небольших затратах машинного времени ЭВМ.

Для каждого маршрута, вошедшего в окончательную маршрутную систему, ЭЦВМ определяет и выдает на печать конечные и промежуточные пункты, требующееся количество подвижного состава для освоения пассажироперевозок, длину, продолжительность оборотного рейса, интервал движения поездов, пассажиропоток по участкам (в том числе участку с максимальной нагрузкой) в обоих направлениях движения. Для каждой пары микрорайонов ЭЦВМ определяет пути следования пассажиров с указанием пунктов, общих затрат времени на проезд пассажира между микрорайонами и их составляющих: затрат времени на следование, пересадки и ожидание транспорта.

§ 12.6. Координация маршрутных систем разных видов ГПТ в единой транспортной системе

Городские пассажироперевозки в крупных городах осуществляют несколькими видами ГПТ, образующими единую городскую транспортную систему. В свою очередь городская транспортная система взаимодействует с пригородной и междугородной, включающей все виды транспорта: автомобильный, железнодорожный, водный, воздушный и т. д. Таким образом, городские транспортные системы являются частью и должны рассматриваться как составная часть Единой транспортной системы страны.

Координация работы разных видов транспорта в единой системе ГПТ предполагает:

1. Единое планирование, контроль и регулирование работы разных видов ГПТ во времени и пространстве с целью наиболее целесообразного распределения между ними пассажиропотоков по критериям минимума суммарных затрат транспортного времени населения в поездках, максимума эксплуатационной экономичности и рентабельности работы единой транспортной системы.

2. Учет особенностей эксплуатации разных видов ГПТ и выделение для каждого из них оптимальной зоны использования, обеспечивающей возможность получения максимальных эксплуатационных показателей транспортной работы и качественных показателей обслуживания пассажироперевозок.

3. Установление научно обоснованных пропорций развития разных видов ГПТ и распределения пассажироперевозок между ними.

Экономическая целесообразность координации работы разных видов ГПТ в единой городской транспортной системе определяется тем, что позволяет существенно повысить рентабельность и народнохозяйст-

венную эффективность ГПТ, освоить растущие пассажироперевозки с более высоким качеством транспортного обслуживания.

Условиями успешного решения вопросов координации работы разных видов ГПТ являются:

1. Единое проектирование комплексной транспортной схемы, обеспечивающей правильное сочетание основных и вспомогательных транспортных систем, скоростных и обычных видов транспорта, включая индивидуальный автомобильный транспорт.

2. Единое административное подчинение и единая система управления работой всех видов ГПТ.

3. Организация транспортной системы, обеспечивающая возможность взаимопомощи маршрутов в освоении пассажироперевозок переброской подвижного состава с маршрута на маршрут и другими методами.

4. Согласование расписаний движения ГПТ с пассажирским транспортом пригородной зоны и внешним транспортом (железнодорожным, воздушным, водным) по критериям минимума ожидания.

Методы координации маршрутных систем ГПТ определяются решаемыми задачами и критериями оптимизации. Координация работы маршрутов на сопряженных направлениях (параллельных и поперечных) предполагает, например, выбор видов транспорта в соответствии с мощностью осваиваемых пассажиропотоков и их колебаниями во времени по часам суток, дням недели и сезонам года. Для поддержания равномерного наполнения поездов при колебаниях пассажиропотоков во времени используются такие методы, как регулирование количества поездов на маршрутах, составности поездов, организация укороченных, удлиненных или временных маршрутов, раздвижка времени начала и окончания работы промышленных предприятий и учреждений города.

Организационными мероприятиями должны быть исключены конкурентные условия работы параллельных маршрутов, обеспечено удобное для пассажиров совмещение пересадочных станций маршрутов разных видов ГПТ, согласование расписаний их работы.

Главным условием правильной координации работы ГПТ в отношении согласования работы отдельных маршрутов и видов ГПТ (автобуса, троллейбуса, трамвая, метрополитенов, городских скоростных железных дорог и т. д.) является их единое управление, предполагающее единую подчиненность и проведение единой транспортной политики. Это условие, к сожалению, в нашей стране еще не соблюдается. Трамвай и троллейбус обычно подчинены министерствам жилищно-коммунального хозяйства союзных республик, автобус — Министерству автомобильного транспорта, метрополитены и городские электрические железные дороги — Министерству путей сообщения, в ряде городов имеются транспортные хозяйства, находящиеся в подчинении различных ведомств, не всегда учитывающих требования единой транспортной политики в отношении организации движения ГПТ. В результате имеются случаи дублирования пассажироперевозок на параллельных маршрутах разных видов транспорта, плохое использование транспортных средств, несогласованное планирование работы маршрутов, неоправданное пассажироперевозками дробление и прерывание маршрутов, увеличивающее

пересадочность и непрямолнейность поездок. Все это приводит к увеличению трудности сообщения и снижению народнохозяйственной эффективности ГПТ.

Координация работы ГПТ в единой транспортной системе должна обеспечивать транспортное единство города с пригородами и междугородной зоной, которое находит свое выражение в согласовании графиков движения и эксплуатационных возможностей маршрутов, организации удобных пересадок с одного вида транспорта на другой, продуманной системе тарифов. Большое значение имеет правильный выбор видов ГПТ. Три-четыре вида ГПТ (трамвай, троллейбус, автобус, метрополитен, иногда городские электрические железные дороги) могут иметь лишь столичные и крупнейшие города. В средних городах для освоения пассажироперевозок достаточно иметь один-два разных вида ГПТ, в мелких — один вид. Неоправданное увеличение количества видов ГПТ приводит к дроблению транспортных хозяйств, усложнению эксплуатации транспортной системы и удорожанию пассажироперевозок. При наличии в городе разных видов ГПТ и разной их ведомственной подчиненности транспортная политика в области транспортного обслуживания (планирование движения, маршрутизация, составление графиков движения) города должна быть единой и направляться транспортными управлениями горисполкомов.

В нашей стране вопросы, связанные с созданием единого управления ГПТ, могут быть решены сравнительно просто. Нужды городского хозяйства заставляют решать эти вопросы и за рубежом, где большие преграды объединению транспортных хозяйств ставит частная собственность. В Англии, например, в регионах с большой плотностью населения городские транспортные предприятия объединены в крупные транспортные единицы — пассажирские транспортные агентства, все виды ГПТ Большого Лондона подчинены государственному предприятию «Лондонский транспорт», находящемуся в ведении Коммунального союза Большого Лондона. Аналогичные транспортные объединения имеются в США, Канаде и странах Западной Европы.

Математическая модель взаимодействия транспортных систем ГПТ разных видов в единой транспортной системе города еще не создана, но имеются отдельные попытки подхода к ней. В частности, М. А. Пиир [22] рассматривает комплексную транспортную систему крупного города в виде взаимодействующих между собой функциональных уровней, связанных пересадочными узлами:

- 1) уличного, обеспечивающего внутрирайонные передвижения;
- 2) магистрального (районного), обеспечивающего межрайонные передвижения;
- 3) городского, обеспечивающего связи планировочных районов с городским центром;
- 4) агломерационного (пригородного), обеспечивающего связи города с пригородной зоной городской агломерации;
- 5) внешнего, обеспечивающего связи города с зонами, расположенными за пределами городской агломерации. Отдельные уровни отличаются скоростью сообщения и другими характеристиками (часть из них может отсутствовать). Пересадочные узлы представляют собой точки взаимодействия разных уровней единой транспортной системы, в соответствии с чем задача ее построения сводится к определению их оптимального количества и размещения в плане города по критериям мини-

мальных затрат транспортного времени в передвижениях, пропускной способности, минимума капитальных затрат в транспортную систему и др. Важное значение имеет планировочное решение пересадочных узлов, определяющее затраты времени в пересадках. Последнее определяется их рангом — количеством уровней транспортной системы, которые они связывают. Чем выше ранг пересадочного узла, тем больше его пассажирская нагрузка и значение в комплексной транспортной системе города.

Количество требующихся пересадочных узлов комплексной транспортной системы определяется средней площадью $f_{п.у}$ зоны влияния пересадочного узла между ее функциональными уровнями. Площадь зоны влияния пересадочного узла между уличным и городским уровнями, которые составляют основу единой городской транспортной системы, является функцией соотношения скоростей сообщения на них $v_{с.у}/v_{с.г}$, средней длины перегона $l_{п.г}$ на транспортной сети городского уровня, средней дальности сетевой поездки $L_{ср}$ и затрат времени $t_{пер}$ на пересадку в узле:

$$f_{п.у} = l_{п.г} [L_{ср} (1 - v_{с.у}/v_{с.г}) - t_{пер} v_{у}]. \quad (12.32)$$

Площадь $f_{п.у}$ растет с увеличением длины перегона $l_{п.г}$ транспортной сети городского уровня, средней дальности транспортного передвижения $L_{ср}$ и скорости сообщения $v_{с.г}$ транспорта городского уровня и уменьшается с увеличением затрат времени на пересадки $t_{пер}$, зависящих от планировочных решений пересадочного узла.

Общее требующееся количество пересадочных узлов в городе между уличным и городским уровнями транспортной системы

$$N_{п.у} = F/f_{п.у}, \quad (12.33)$$

где F — площадь города, подлежащая транспортному обслуживанию.

Принимая на перспективу $v_{с.у} = 20$ км/ч, $v_{с.г} = 45$ км/ч, $t_{пер} = 0,05$ ч (3 мин), $l_{п.г} = 1,7$ км (городской уровень обслуживается скоростными видами транспорта — метрополитеном, городскими железными дорогами и скоростными автомагистралями) и среднюю длину сетевой поездки $L_{ср} = 1,2 + 0,3 F$, по (12.32) и (12.33) для города $F = 200$ км² получим $N_{п.у} = 80$, для $F = 300$ км² получим $N_{п.у} = 90$ и т. д.

Возможности модели М. А. Пиира ограничены, но она представляет интерес как одна из первых попыток моделирования комплексной транспортной системы ГПТ.

Г л а в а 13

ОСНОВЫ ВЫБОРА ВИДОВ ГПТ И РАСЧЕТА ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

§ 13.1. Принципы подхода к выбору видов и систем ГПТ

Каждый вид ГПТ имеет определенную технико-экономическую характеристику: габаритные и весовые показатели, вместимость, проходимость и маневренность, комфортабельность, провозную способность,

санитарно-гигиенические характеристики и др. В то же время и каждый город характеризуется определенным комплексом транспортных условий: запросами на пассажироперевозки, мощностью и колебаниями пассажиропотоков во времени и по направлениям ТС, средней дальностью поездки и др. В проблеме согласования требующихся по градостроительным соображениям и реально обеспечиваемых существующими транспортными средствами характеристик транспортного обслуживания населения городов различают два класса задач: 1) задачи определения областей рационального применения различных видов транспорта и типов подвижного состава по технико-экономическим или другим соображениям; 2) задачи выбора видов транспорта для условий конкретных городов по всему комплексу технико-экономических, архитектурно-планировочных, санитарно-гигиенических и других показателей. Первая из этих задач не связана с конкретными ограничениями реальных городов и требует учета одного или ограниченной группы факторов сравнения, таких, как провозная способность, скорость сообщения и др. Примером задач этого рода является определение экономических пассажиропотоков, осваиваемых разными видами транспорта при разной составности поездов и типах подвижного состава: автобусом, троллейбусом, трамваем и др. Вторая задача более сложная — так как предполагает определение рационального сочетания в условиях конкретного города различных (но в каждом конкретном историческом условиях заранее принципиально известных) видов ГПТ таким образом, чтобы обеспечить рациональные условия работы каждого из них в отдельности и транспортной системы в целом.

Основной критерий выбора разных видов ГПТ — критерий максимального качества пассажироперевозок при минимуме связанных с ними приведенных затрат (капитальных вложений в транспортную систему и затрат по ее эксплуатации). Капитальные затраты K и эксплуатационные расходы Σ являются функцией пассажирооборота Q . В соответствии с этим области рационального использования разных видов ГПТ определяют построением зависимостей $S(Q)$ или $S(F)$ приведенных строительно-эксплуатационных затрат S [см. (4.7)] от пассажирооборота Q или пассажиропотока F . Капиталовложения на строительство сооружений и устройств ГПТ определяют с учетом специфики разных его видов.

Для автобуса

$$K_{\text{авт}} = L_0 q_0 \alpha_{\text{авт}} / 100 + \sum N_{\text{инв}} q_{\text{и.с}} + \sum N_{\text{инв}} q_{\text{г}} + \sum C_{\text{з.с}} + \\ + \sum C_{\text{ст}} + \sum C_{\text{о.п}} + \sum C_{\text{о.д}}, \quad (13.1)$$

где L_0 — длина транспортной сети в однопутном исчислении (приведенной к одной полосе движения); км; q_0 — стоимость строительства 1 км полосы движения проезжей части, тыс. руб.; $\alpha_{\text{авт}}$ — доля отчислений от стоимости одной полосы движения на автобусный транспорт, %; $N_{\text{инв}}$ — инвентарное количество подвижного состава того или другого типа, требующееся для освоения заданных пассажироперевозок; $q_{\text{и.с}}$ — стоимость единицы подвижного состава рассматриваемого типа, тыс. руб.; $q_{\text{г}}$ — стоимость машино-места в гараже для автобусов рассматриваемого типа, тыс. руб.; $\sum C_{\text{з.с}}$ — стоимость строительства необходимого

количества заправочных станций, тыс. руб.; $\Sigma C_{ст}$ — стоимость строительства необходимого количества конечных и промежуточных станций маршрутов, тыс. руб.; $\Sigma C_{о.п}$ — стоимость сооружения необходимого количества остановочных пунктов на маршрутах, тыс. руб.; $\Sigma C_{о.д}$ — стоимость сооружения устройств организации движения подвижного состава.

Для трамвая

$$K_{\text{трамв}} = L_0 q_0 + \Sigma N_{\text{инт}} q_{п.с} + \Sigma N_{\text{инт}} q_d + \Sigma C_{с.т} + \\ + \Sigma C_{о.п} + \Sigma C_{т.п} + \Sigma C_{к.с} + \Sigma C_{кб.с} \quad (13.2)$$

где q_d — стоимость вагоно-места в трамвайном депо для подвижного состава рассматриваемого типа, тыс. руб.; $\Sigma C_{т.п}$ — стоимость сооружения необходимого количества тяговых подстанций системы электро-снабжения трамвая, тыс. руб.; $\Sigma C_{к.с}$ — стоимость сооружения контактной сети системы электроснабжения, тыс. руб.; $\Sigma C_{кб.с}$ — стоимость сооружения кабельных сетей системы электроснабжения, тыс. руб.

Капитальные затраты на строительство сооружений и устройств троллейбуса подсчитывают аналогично (13.2). Затраты в пугевые устройства определяют в этом случае, как и для автобуса, с учетом доли отчислений $\alpha_{\text{трол}}$, %. Долю отчислений $\alpha_{\text{авт}}$ и $\alpha_{\text{трол}}$ на автобусный и троллейбусный транспорт от стоимости полосы движения проезжей части городской улицы или транспортного проезда принимают в зависимости от размеров движения и его грузового воздействия на дорожное покрытие. Для автобусов и троллейбусов средней вместимости (60—70 пасс. мест) они составляют при интервалах движения 2 мин — 31%; 3 мин — 19%; 4 мин — 14,3%; 5 мин — 11,5%; 6 мин — 9,5%; 7 мин — 7,5%.

Для метрополитена

$$K_{\text{мет}} = \Sigma L_c q_c + \Sigma N_{\text{инт}} q_{п.с} + \Sigma N_{\text{инт}} q_d \\ + \Sigma C_{ст} + \Sigma C_t, \quad (13.3)$$

где L_c — длина различных по стоимости участков линий метрополитена в двухпутном исчислении, км; q_c — стоимость 1 км двухпутной линии со всеми сооружениями, тыс. руб.; $\Sigma C_{ст}$ — стоимость необходимого количества станций метрополитена с вестибюлями, тыс. руб.; ΣC_t — стоимость необходимого количества тупиков для оборота поездов, тыс. руб.

Годовые эксплуатационные расходы $\mathcal{E}$ определяют с учетом переменных расходов $\mathcal{E}_{\text{пер}}$, зависящих от объема пассажироперевозок, и постоянных $\mathcal{E}_{\text{пост}}$, не зависящих от объема пассажироперевозок:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{пер}} + \mathcal{E}_{\text{пост}}. \quad (13.4)$$

Для автобуса

переменные расходы (в тыс. руб.)

$$\mathcal{E}_{\text{пер}} = 0,365 (0,1 \mathcal{E}_{\text{вкм}} N_{\text{дв}} l_{ср.с} + \Sigma \mathcal{E}_{\text{вип}} l_{с.п} + \\ + 0,001 \mathcal{E}_{\text{ис}} N_{\text{дв}} l_{ср.с}), \quad (13.5)$$

где $\mathcal{E}_{вкм}$ — норма расходов на 10 машино-км пробега автобуса; $N_{дв} l_{ср.с}$ — среднесуточный пробег автобусов; $N_{дв}$ — количество автобусов в движении; $l_{ср.с}$ — среднесуточный пробег одного автобуса; $\mathcal{E}_{вчп}$ — норма расходов на один час простоя автобусов на линии, руб.; $t_{с.п}$ — среднесуточный простой автобуса на линии, машино-ч; $\mathcal{E}_{ис}$ — норма расходов на содержание городских улиц и дорог, отнесенных на 10 машино-км пробега автобусов, коп.;

постоянные расходы

$$\mathcal{E}_{пост} = \sum \mathcal{E}_г + \sum \mathcal{E}_{з.с} + \sum \mathcal{E}_{ст}, \quad (13.6)$$

где $\mathcal{E}_г$, $\mathcal{E}_{з.с}$ и $\mathcal{E}_{ст}$ — годовые нормы расходов на содержание соответственно гаражей, заправочных станций и станций маршрутов (конечных и промежуточных), тыс. руб.

Для трамвая

переменные расходы

$$\mathcal{E}_{пер} = 0,365(0,1\mathcal{E}_{вкм} N_{дв} l_{ср.с} + 0,1\mathcal{E}_0 N_{дв} n_0 + \sum \mathcal{E}_{вчп} t_{с.п}), \quad (13.7)$$

где $\mathcal{E}_0$ — норма эксплуатационных расходов на 10 остановок трамвайного поезда; n_0 — среднесуточное количество остановок одного поезда за время работы на линии;

постоянные расходы

$$\mathcal{E}_{пост} = \sum \mathcal{E}_{р.п} l_{р.п} + \sum \mathcal{E}_{ст} + \sum \mathcal{E}_{г.д} + \sum \mathcal{E}_{г.п} + \\ + \sum \mathcal{E}_{к.с} + \sum \mathcal{E}_{кб.с}, \quad (13.8)$$

где $\mathcal{E}_{р.п}$ — норма расходов на содержание 1 км трамвайного пути; $l_{р.п}$ — длина трамвайных путей; $\mathcal{E}_{г.д}$ — годовые расходы на содержание трамвайных депо; $\mathcal{E}_{г.п}$, $\mathcal{E}_{к.с}$, $\mathcal{E}_{кб.с}$ — то же, на содержание тяговых подстанций, контактной сети и кабельных сетей системы электроснабжения, тыс. руб.

Для троллейбуса переменные и постоянные эксплуатационные расходы подсчитывают, как для трамвая, по (13.7) и (13.8) с добавлением в переменные расходы дорожной составляющей аналогично автобусу и исключением из постоянных расходов на путевые устройства.

Для метрополитенов переменные эксплуатационные расходы определяют по (13.7), как для трамвая ($t_{с.п}$ в этом случае — среднесуточный простой поездов в пунктах оборота). Постоянные расходы

$$\mathcal{E}_{пост} = \sum \mathcal{E}_с l_с + \sum \mathcal{E}_{ст} + \sum \mathcal{E}_{м.д}, \quad (13.9)$$

где $\mathcal{E}_с$ — норма годовых расходов на содержание 1 км перегона (в двухпутном исчислении); $l_с$ — длина путей на перегонах, км; $\mathcal{E}_{ст}$, $\mathcal{E}_{м.д}$ — эксплуатационные расходы на содержание станций метрополитена с вестибюлями и депо, тыс. руб.

При решении задачи определения областей рационального применения разных видов ГПТ задаются величинами пассажирооборота Q , затем по (4.7), с использованием (13.1) — (13.9), находят требуемые для их реализации приведенные строительно-эксплуатационные затраты и строят графики изменения в функции пассажирооборота Q или пассажи-

ропотока F . При определении эксплуатационных затрат $\mathcal{E}$ используют усредненные отчетно-статистические данные рассматриваемых видов ГПТ, а при определении капиталовложений K — существующие отпускные цены на оборудование и строительные материалы. Поскольку эти затраты с течением времени изменяются, то расчетные области применения разных видов ГПТ являются функцией конкретных исторических условий.

Данные сравнительных технико-экономических расчетов областей применения разных видов ГПТ для современных условий по усредненным отчетно-статистическим данным и строительным нормам приведены в функции среднесуточного пассажиропотока $F_{ср.с}$ на рис. 13.1 [2]. Из графика видно, что наиболее экономичными по приведенным строительно-эксплуатационным затратам S являются в области пассажиропотоков до 4,2 тыс. пасс-км/(км сут) сочлененные автобусы (кривая 7), а при более мощных пассажиропотоках — трамвайные вагоны (кривые 8, 9).

Ограниченность приведенного метода расчета областей использования разных видов ГПТ связана с тем, что он не учитывает ряда таких характеристик, как надежность в работе, скорость сообщения, комфортабельность, привлекательность для пассажиров, санитарно-гигиенические (бесшумность, отсутствие токсических выделений) и т. д. Сложность задачи выбора видов ГПТ по комплексу всех определяющих его характеристик связана с тремя обстоятельствами:

- 1) трудностью определения «границ комплексности», т. е. ограничения группы факторов, подлежащих учету;
- 2) трудностью приведения разнородных факторов к одной единице измерения;
- 3) трудностью оценки влияния различных факторов на выбор видов ГПТ.

Определение границ комплексности выбора видов ГПТ должно производиться по утвержденным методикам расчета с учетом широты и ответственности решаемой задачи. Выбор видов ГПТ для обслуживания пассажироперевозок в новом городе требует, например, учета другой

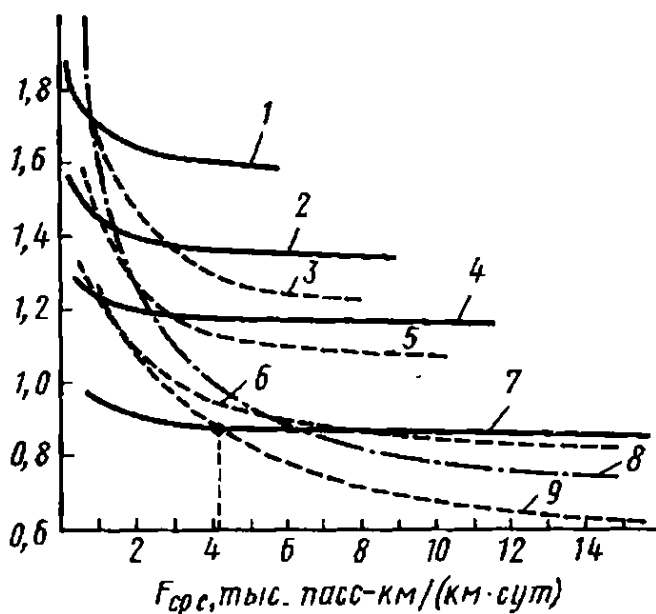


Рис. 13.1

Зависимость приведенных строительно-эксплуатационных затрат S от удельного пассажирооборота:

1 — автобус ПАЗ-652; 2 — автобус средней вместимости; 3 — троллейбус средней вместимости; 4 — автобус ЛИАЗ-677; 5 — троллейбус ЗиУ-5; 6 — сочлененный троллейбус; 7 — сочлененный автобус; 8 — трамвай РВЗ-6; 9 — шестиосный трамвай

группы факторов, чем задача выбора видов ГПТ для транспортного обслуживания района новой застройки в старом городе. Серьезные и часто непреодолимые трудности связаны с разнородностью единиц измерения различных характеристик и количественной оценкой таких из них, как, например, маневренность транспортной системы, комфортабельность пассажироперевозок и др. Весьма удобной общей единицей измерения различных характеристик мог бы быть рубль (стоимостная единица), но стоимостное выражение ряда из них неизвестно. Для сравнительной оценки разнородных характеристик в настоящее время используют метод экспертной оценки по балльной системе, при котором каждой характеристике присваивают две численные оценки: балл по 3-, 5- или 10-балльной системе и весовой коэффициент. Сводный показатель оцениваемого варианта

$$k_{ca} = \sum_{i=1}^n B_i m_i, \quad (13.10)$$

где B_i — балльная оценка i -го признака (критерия); m_i — весовой коэффициент (коэффициент значимости); n — количество признаков сравнения вариантов.

Весовые коэффициенты в (13.10) удовлетворяют условию

$$\sum_{i=1}^n m_i = 1. \quad (13.11)$$

В настоящее время единой методики выбора видов ГПТ по всему комплексу определяющих его показателей не имеется, так как удельный вес критериев этого выбора различен в разных условиях. Поэтому виды и системы ГПТ выбирают обычно только по строительно-эксплуатационным затратам с эвристической оценкой остальных определяющих его характеристик.

§ 13.2. Выбор желательных интервалов движения поездов ГПТ

Увеличение интервалов движения поездов приводит к росту затрат времени пассажиров на ожидание транспорта [см. (3.46)] и общей трудности сообщения [см. (3.30)], а уменьшение интервалов ограничено пропускной способностью дорог, требующейся регулярностью и условиями безопасности движения. Поэтому выбор интервалов движения ограничивают сверху и снизу — максимальным $t_{н. макс}$ и минимальным $t_{н. мин}$ интервалами. Максимальный интервал движения поездов ограничивается Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) подвижного состава по условию предоставления населению нормальных условий транспортного обслуживания или определяется расчетом. Принимая, например, в качестве критериев выбора величины $t_{н. макс}$ условие возможности экономии затрат времени на передвижения при использовании ГПТ, сформулируем его неравенством (13.12), в соответствии с которым затраты времени в передвижении на пути l_{ij} , включая максимальное время ожидания поезда на остановочном пункте, не должны превышать затрат времени пешеходного передвижения на то же расстояние [34]:

$$t_{н. макс} + l_{ij}/v_c \leq l_{ij}/v_{пеш}, \quad (13.12)$$

откуда

$$t_{н. макс} \leq l_{ij}(1/v_{пеш} - 1/v_c). \quad (13.13)$$

Выбор минимального интервала движения связан обычно с нормированием регулярности и колебаний наполнения поездов, связанных с нерегулярностью движения. Если принять, что подход пассажиров к остановочным пунктам происходит равномерно, то при колебаниях интервала между поездами пропорционально будет меняться наполнение поездов:

$$\Delta m/m = \Delta t_n/t_n, \quad (13.14)$$

где Δm — колебания наполнения поездов пассажирами; m — наполнение поездов; Δt_n — колебания интервала движения.

При увеличении интервала относительно расчетного t_n на величину Δt_n отставший поезд переполняется пассажирами на величину Δm . Естественно, что колебания интервалов движения будут влиять на наполнение поездов тем существеннее, чем меньше расчетный интервал t_n . Поэтому его можно уменьшать лишь так, чтобы фактическое наполнение отставших поездов не превышало расчетного: $m + \Delta m \leq m_p$, откуда

$$\Delta m/m \leq m_p/m - 1 = (1 - k_n)/k_n, \quad (13.15)$$

где $k_n = m/m_p$ — допустимый коэффициент наполнения поездов; m_p — расчетная вместимость.

Из (13.14) и (13.15) после преобразований получим

$$t_{н. мин} \geq \Delta t_n k_n / (1 - k_n). \quad (13.16)$$

Принимая, например, $v_{пеш} = 4$ км/ч и $v_c = 16$ км/ч при $l_{ij} = 1$ км, по (13.13) находим $t_{н. макс} = 11,25$ мин, при $l_{ij} = 2$ км находим $t_{н. макс} = 22,5$ мин, при $l_{ij} = 3$ км находим $t_{н. макс} = 33,8$ мин и т. д. Эти цифры показывают, что с увеличением дальности передвижения допустимый максимальный интервал движения быстро растет. В целом же расчетный максимальный интервал, подсчитанный по (13.13), намного превышает допускаемый ПТЭ на городских маршрутах.

Допускаемые отклонения времени прибытия поездов на распорядительную станцию маршрутов при расчетном интервале между поездами, превышающем 2 мин, составляют по опозданиям +2 мин и по нагону (преждевременному приходу поездов на распорядительную станцию) — 1 мин, а при расчетном интервале между поездами, меньшем 2 мин, составляют ± 1 мин. Принимая, например, $\Delta t_n = 1$ мин и $k_{н. макс} = 0,7$, по (13.16) получим $t_{н. мин} = 2,34$ мин ≈ 2 мин, а при $\Delta t_n = 2$ мин и $k_{н. макс} = 0,7$ находим $t_{н. мин} = 4,67$ мин. Из (13.16) следует, что чем больше расчетный коэффициент наполнения поездов, тем большим должен быть выбран интервал $t_{н. мин}$ для исключения их переполнения. При $\Delta t_n = 2$ мин и $k_{н. макс} = 0,8$ получим $t_{н. мин} = 8$ мин, при $k_{н. макс} = 0,9$ имеем $t_{н. мин} = 18$ мин. Эти результаты показывают, что в хозяйствах, где подвижного состава для обслуживания заданных пассажироперевозок не хватает и поэтому коэффициенты использования вместимости имеющегося сравнительно велики, целесообразно по условиям использования вместимости и обе-

спечения необходимой комфортабельности проезда иметь в инвентаре более вместительный подвижной состав и за счет этого увеличивать в допустимых пределах интервалы движения поездов, а в хозяйствах, имеющих подвижной состав в достаточном количестве и более низкие коэффициенты наполнения (использования вместимости) — иметь в инвентаре подвижной состав меньшей вместимости и за счет этого уменьшать в допустимых пределах интервалы движения поездов. Следует, однако, отметить, что практически в транспортных хозяйствах приходится прежде всего считаться с наличным подвижным составом и другими соображениями. В частности, уменьшение вместимости используемого подвижного состава приводит к увеличению себестоимости пассажироперевозок и требует увеличения штата водителей. Поэтому в транспортных хозяйствах обычно наблюдается обратная тенденция: отдают предпочтение подвижному составу более высокой вместимости.

§ 13.3. Расчет количества и выбор рядов вместимости подвижного состава для освоения расчетных пассажироперевозок

При пассажирообороте транспортной сети Q (пасс-км/ч) условие равенства запроса на пассажироперевозки их фактическому обеспечению пассажирскими местами в подвижном составе имеет вид:

$$Q = N_{\text{дв}} m_p k_{\text{и}} v_{\text{э}}, \quad (13.17)$$

где $N_{\text{дв}}$ — количество подвижного состава в движении; m_p — расчетная вместимость единицы подвижного состава; $k_{\text{и}}$ — коэффициент использования расчетной вместимости; $v_{\text{э}}$ — эксплуатационная скорость подвижного состава.

Левая часть уравнения (13.17) — запрос на пассажироперевозки (пасс-км), правая — их обеспечение (место-км).

Из (13.17) следует, что выбор расчетной вместимости m_p определяет выбор количества подвижного состава, требующегося для обслуживания заданных пассажироперевозок, а последнее влияет на частоту движения, использование подвижного состава по вместимости и другие важнейшие показатели транспортного обслуживания. При заданной величине $N_{\text{дв}}$ и известной маршрутной системе средний маршрутный интервал будет:

$$l_{\text{и}} = 2 \sum l_{\text{м}} / N_{\text{дв}} \quad \text{и} \quad t_{\text{и}} = 2 \sum l_{\text{м}} / N_{\text{дв}} v_{\text{э}}, \quad (13.18)$$

где $\sum l_{\text{м}}$ — сумма длин маршрутов транспортной системы.

По (13.18) при заданном максимальном допустимом маршрутном интервале $t_{\text{и, макс}}$ можно определить минимальное количество подвижного состава $N_{\text{дв, мин}}$, требующееся для обслуживания пассажироперевозок, а по (13.17) при найденной величине $N_{\text{дв, мин}}$ и известном пассажирообороте $Q_{\text{мин}}$ в часы минимальной пассажирской нагрузки транспортной сети — использование вместимости подвижного состава, выражающейся коэффициентом $k_{\text{и}}$.

Приведенные и другие простейшие расчеты показывают, что в условиях колебаний пассажиропотоков во времени качественные и экономические характеристики пассажироперевозок существенно зависят от вы-

бора вместимости подвижного состава. При использовании поездов одной вместимости на маршрутах с разным пассажиропотоком в худших условиях будут находиться маршруты, имеющие более низкие пассажиропотоки: интервал движения поездов на них будет больше, а использование вместимости меньше, чем на более нагруженных маршрутах. Для получения максимальных показателей использования подвижного состава и качества пассажироперевозок по затратам транспортного времени населения транспортные предприятия должны иметь подвижной состав разной вместимости и распределять его по маршрутам в соответствии с мощностью их пассажиропотоков.

Однако наличие в транспортном предприятии разнотипного подвижного состава осложняет организацию его технического обслуживания и ремонтов, приводит к росту эксплуатационных затрат. Поэтому задача выбора рядов вместимости подвижного состава в конкретных условиях требует оптимизации по критерию минимума суммарных расходов с учетом всего комплекса определяющих факторов.

Требуемая вместимость подвижного состава маршрутов, обеспечивающая заданные пассажироперевозки при нужных интервалах движения и коэффициенте наполнения поездов, определяется удельным пассажирооборотом маршрутов $\bar{Q}_m$, который находят как произведение удельного объема пассажироперевозок маршрута $\bar{A}_m = A_m / l_m$ (A_m — объем пассажироперевозок маршрута за рассматриваемый период) на среднюю длину пассажиропоездки L_{cp} :

$$\bar{A}_m L_{cp} = A_m L_{cp} / l_m = Q_m / l_m = \bar{Q}_m, \quad (13.19)$$

где Q_m , l_m — пассажирооборот и длина маршрута.

Разные маршруты в транспортных системах характеризуются разными удельными объемами пассажироперевозок $\bar{A}_m$. Функция распре-

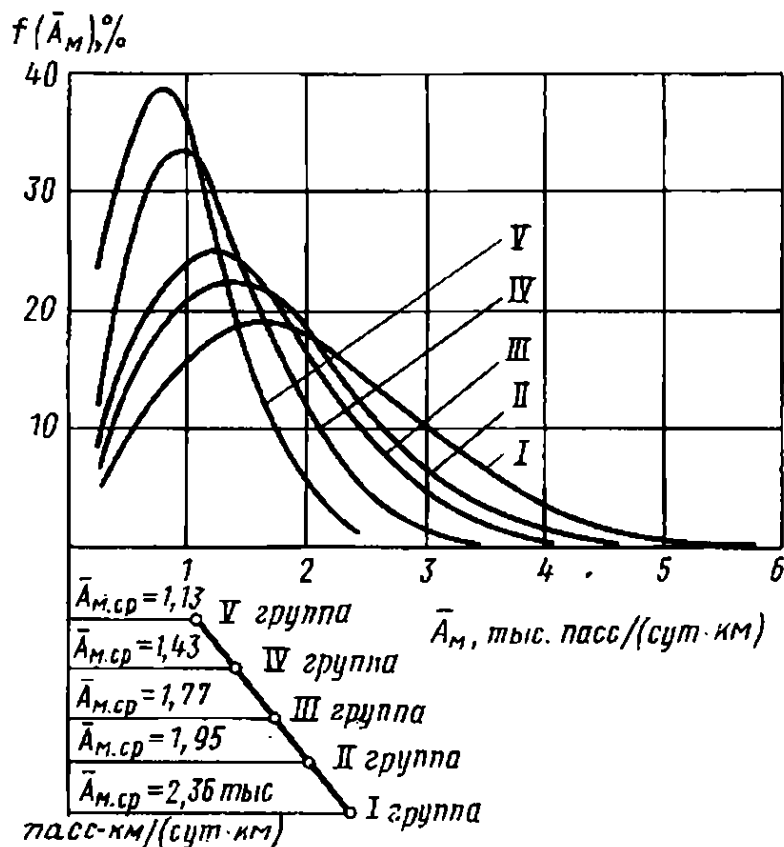


Рис. 13.2

Распределение маршрутов по удельному суточному объему пассажироперевозок в городах разной населенности

ления маршрутов по параметру $\bar{A}_m$, определяющая количество маршрутов $f(\bar{A}_m)$, соответствующее удельному объему пассажироперевозок $\bar{A}_m$, может быть найдена расчетом транспортной системы методом взаимных корреспонденций транспортных районов или по результатам статистической обработки данных о пассажироперевозках маршрутов в городах соответствующей группы населенности.

Статистические данные о распределении маршрутов по удельному среднесуточному объему пассажироперевозок для городов разной населенности приведены на рис. 13.2 и в табл. 13.1. С ростом удельного

Таблица 13.1

Удельный среднесуточный объем пассажироперевозок маршрута, тыс. пасс/(км × сут)	Функции распределения маршрутов в городах разной населенности				
	I	II	III	IV	V
0—0,5	4,8	6,8	8,6	12,0	22,9
0,5—1,0	13,0	18,3	20,8	31,3	37,9
1,0—1,5	17,9	22,1	25,0	27,8	26,5
1,5—2,0	18,8	20,6	20,8	17,5	10,3
2,0—2,5	16,3	15,0	13,5	7,9	2,4
2,5—3,0	12,3	9,0	7,0	2,6	—
3,0—3,5	8,0	4,9	2,8	0,9	—
3,5—4,0	4,7	2,1	1,1	—	—
4,0—4,5	2,5	1,0	0,3	—	—
4,5—5,0	1,2	0,2	—	—	—
5,0—5,5	0,4	—	—	—	—
5,5—6,0	0,2	—	—	—	—
Итого, % . . .	100,0	100	100	100	100

объема пассажироперевозок $\bar{A}_m$ количество имеющих его маршрутов вначале растет, а затем постепенно снижается. Характер этих распределений близок к распределению Релея:

$$f(\bar{A}_m) = (2\bar{A}_m/\alpha)^{-\bar{A}_m^2/\alpha}, \quad (13.20)$$

где α — параметр распределения.

Важно отметить, что кривые распределения пассажироперевозок по маршрутам в функции удельного объема $\bar{A}_m$ схожи с кривыми распределения пассажиров по дальности поездок (см. рис. 3.10), такой же вид имеют кривые распределения маршрутов по интервалам движения и по длине. Общий характер этих, в принципе различных, зависимостей показывает, что все они обусловлены одними и теми же закономерностями формирования городских пассажирских связей.

Удельный пассажирооборот маршрутов определяют по (13.19) как произведение $\bar{A}_m$ и L_{cp} . Средняя дальность поездки L_{cp} не зависит от объема пассажироперевозок на маршрутах $\bar{A}_m$. Поэтому распределение маршрутов по удельному пассажирообороту $\bar{Q}_m$ и, следовательно, объема пассажироперевозок по удельному пассажирообороту $\bar{Q}_m$ будет таким же, как по удельному объему пассажироперевозок $\bar{A}_m$. Соответ-

ствующие кривые распределения для городов разных групп населенности приведены на рис. 13.3 и в табл. 13.2.

Из изложенного следует: чтобы создать на всех маршрутах одинаковые условия пассажироперевозок, т. е. обеспечить пассажироперевозки с равными интервалами и коэффициентами наполнения подвижного состава, необходимо выбрать вместимость обслуживающего их подвижного состава так, чтобы она соответствовала удельному пассажирообороту маршрутов $\bar{Q}_m$. Требуемая при этом средняя вместимость может быть определена расчетом. В лимитирующий час пик на маршрутах должно работать $N_{дв. макс}$ поездов, количество которых может быть найдено по данным транспортного расчета аналогично (13.17):

$$(Q_r/365) k_{nm} k_{чп} k_{дм} k_{пп} k_{вч.п} = N_{дв. макс} m_p k_n v_3, \quad (13.21)$$

где Q_r — расчетный годовой объем транспортной работы сети; k_{nm} , $k_{чп}$, $k_{дм}$, $k_{пп}$, $k_{вч.п}$ — коэффициенты неравномерности пассажироперевозок: сезонной (месячной), часа пик, распределения транспортной нагрузки по длине маршрутов, по направлениям маршрутов, внутричасовой неравномерности в часы пик (см. § 11.8). С учетом (13.21) и соотношений: $t_n = 2\sum l_m / N_{дв} v_3$; $t_{ож} = 0,5 t_n \varepsilon_p$; $\sum l_m = L_c k_m = \delta F_{ссп} k_m$; $Q_{год}/365 = A_m L_{ср}$; $A_m / F_{ссп} = A_f = \lambda_n p_m$ (λ_n — плотность населения города, чел/км²; p_m — маршрутная подвижность его жителей) можно найти:

$$m_p = t_n p_m L_{ср} k_{nm} k_{чп} k_{дм} k_{пп} k_{вч.п} t_{ож} / (\delta k_m \varepsilon_p k_n). \quad (13.22)$$

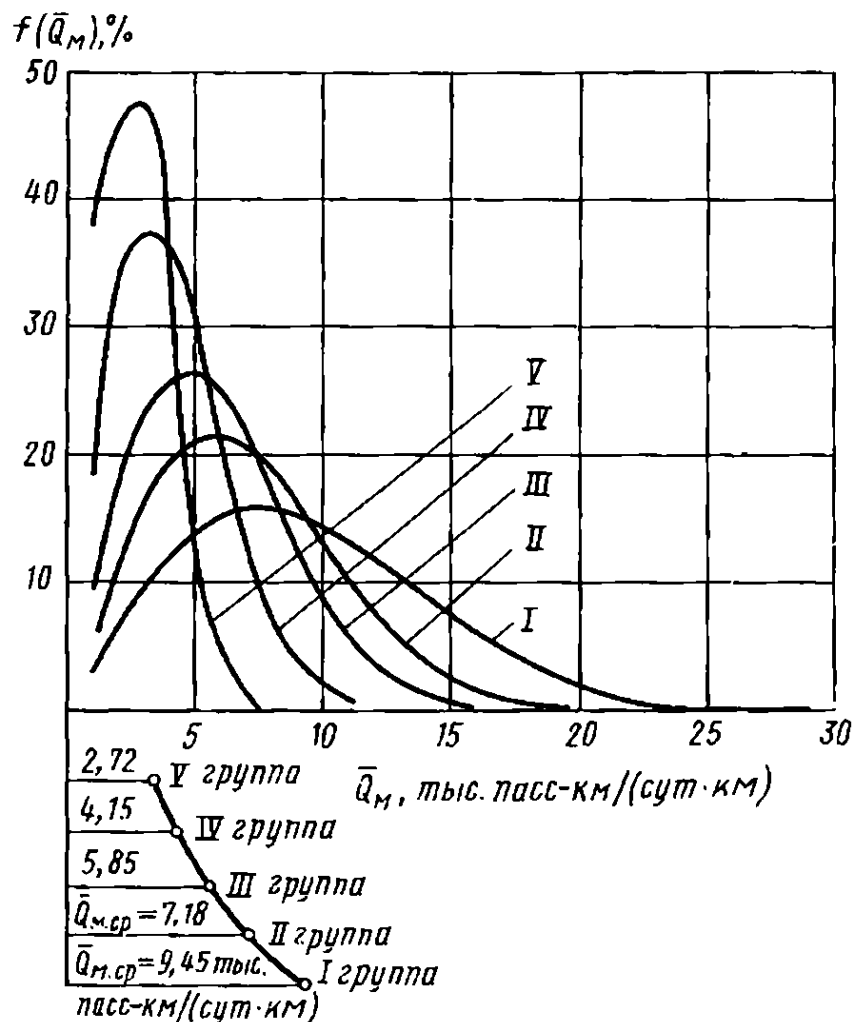


Рис. 13.3

Распределение маршрутов по удельному суточному пассажирообороту в городах разной населенности

Таблица 13.2

Удельный среднесуточный пассажирооборот маршрута, тыс. пасс-км/(км·сут)	Функции распределения маршрутов в городах разной населенности				
	I	II	III	IV	V
0—2	3,4	5,8	9,0	18,2	37,7
2—4	9,6	16,7	22,5	37,1	47,5
4—6	13,5	21,0	26,2	28,5	13,6
6—8	15,5	20,5	21,1	12,5	1,2
8—10	15,4	15,7	12,6	3,2	—
10—12	13,4	10,4	5,7	0,5	—
12—14	10,6	5,9	2,2	—	—
14—16	7,6	2,5	0,6	—	—
16—18	4,9	1,2	0,1	—	—
18—20	3,1	0,2	—	—	—
20—22	1,7	0,1	—	—	—
22—24	0,9	—	—	—	—
24—26	0,3	—	—	—	—
26—28	0,1	—	—	—	—
Итого, % . . .	100	100	100	100	100

По (13.22) средняя вместимость подвижного состава, требующегося для обслуживания пассажироперевозок с оптимальными интервалами между поездами и коэффициентами наполнения, получается равной: для городов I группы населенности — 120—130; II группы — 90—100; III группы — 75—80; IV группы — 65—70 и V группы — 45—50.

Однако средняя вместимость еще не определяет требующийся ряд вместимостей подвижного состава для обслуживания заданных пассажироперевозок. Последний должен выбираться так, чтобы обеспечить требующиеся экономические и эксплуатационные характеристики пассажироперевозок. С увеличением плотности (количества членов) ряда вместимостей подвижного состава возможности повышения его использования в эксплуатации растут, но усложняется организация движения, повышается стоимость производства подвижного состава (за счет уменьшения программы выпуска), усложняется и удорожается его техническое обслуживание и ремонт в эксплуатации. Поэтому в практике производства типаж подвижного состава ограничивают утвержденным размерным рядом, а в практике эксплуатации транспортных систем стремятся обеспечить пассажироперевозки при минимальной разнотипности обслуживающего их подвижного состава.

Принятый ряд вместимостей подвижного состава ГПТ представлен вместимостями 35—40, 60—75, 80—95, 110—120, 160—180, 230—260 пасс.-мест. Для выбора подвижного состава нужной вместимости требуется иметь данные о распределении пассажироперевозок (транспортной работы) по маршрутам и определить расчетом необходимую среднюю вместимость подвижного состава. По методике, предложенной проф. Д. С. Симоиловым, график распределения пассажироперевозок по маршрутам совмещают со шкалой вместимостей подвижного состава так,

$t_{н. макс}$ с допустимой минимальной экономичностью. Отбрасывая пассажирообороты с пассажирооборотом, меньшим $\bar{Q}_{м. мин}$, предполагаем, что они будут осваиваться либо ИПТ, либо ГМПТ, но с интервалами, превышающими $t_{н. макс}$, т. е. по системе загородных маршрутов. С целью ограничения требующегося ряда вместимостей подвижного состава сверху, исключаем из расчета маршруты с максимальным удельным пассажирооборотом $\bar{Q}_{м. макс}$, процентное количество которых ниже некоторой границы, например 2%. Считаем при этом, что на исключенных из расчета маршрутах будет работать подвижной состав максимальной расчетной вместимости либо они будут изменены так (например, дополнены параллельными маршрутами), чтобы их пассажирооборот вошел в границы $\bar{Q}_{м. мин} - \bar{Q}_{м. макс}$.

4. Рассчитанным величинам $\bar{Q}_{м. ср}$ и $m'_{ср}$ приписываем пассажирообороты с интервалом $t_{н. ср}$. Из условий пропорциональности пассажирооборота интервалу

$$\bar{Q}_{м. ср}/t_{н. ср} = \bar{Q}'_{м. макс}/t_{н. макс}, \quad \bar{Q}_{м. ср}/t_{н. ср} = \bar{Q}'_{м. мин}/t_{н. мин} \quad (13.23)$$

определяем границы удельного пассажирооборота, который может быть освоен подвижным составом с вместимостью $m'_{ср}$:

$$\bar{Q}'_{м. макс} = \bar{Q}_{м. ср} t_{н. мин}/t_{н. ср}; \quad \bar{Q}'_{м. мин} = \bar{Q}_{м. ср} t_{н. макс}/t_{н. ср}. \quad (13.24)$$

Если найденный таким образом интервал $\bar{Q}'_{м. мин} - \bar{Q}'_{м. макс}$ перекрывает границы интервала $\bar{Q}_{м. мин} - \bar{Q}_{м. макс}$, то для освоения пассажирооборотов всех маршрутов транспортной системы достаточно иметь один тип подвижного состава с вместимостью $m'_{ср}$. Однако практически интервал $\bar{Q}'_{м. мин} - \bar{Q}'_{м. макс}$ часто не перекрывает границы интервала $\bar{Q}_{м. мин} - \bar{Q}_{м. макс}$.

5. В этом случае находим вместимость подвижного состава, требующегося для обслуживания пассажирооборотов маршрутов, расположенных на границах интервала $\bar{Q}_{м. мин} - \bar{Q}_{м. макс}$. Нижней границе интервала осваиваемых пассажирооборотов приписываем пассажирообороты с интервалом $t_{н. макс}$ и из условия, аналогичного (13.23), находим средний пассажирооборот $\bar{Q}''_{м. ср}$, соответствующий среднему интервалу $t_{н. ср}$, и максимальный $\bar{Q}''_{м. макс}$, соответствующий минимальному интервалу $t_{н. мин}$:

$$\bar{Q}''_{м. ср} = \bar{Q}_{м. мин} t_{н. ср}/t_{н. мин}; \quad \bar{Q}''_{м. макс} = \bar{Q}_{м. мин} t_{н. макс}/t_{н. мин}. \quad (13.25)$$

По рис. 13.4 при $\bar{Q}''_{м. ср}$ находим $m_{мин}$ — вместимость подвижного состава, требующегося для обслуживания маршрутов с низким пассажирооборотом, и округляем ее до $m'_{мин}$ — ближайшей по ряду вместимостей. Величины $\bar{Q}_{м. мин}$ и $\bar{Q}''_{м. макс}$ определяют границы удельного пассажирооборота, который может быть освоен подвижным составом этой вместимости в пределах интервалов $t_{н. мин} - t_{н. макс}$.

Аналогично верхней границе $\bar{Q}_{м. макс}$ приписываем пассажирообороты с интервалом $t_{н. мин}$ и находим удельный пассажирооборот $\bar{Q}'''_{м. ср}$ и $\bar{Q}'''_{м. мин}$, соответствующий интервалам $t_{н. ср}$ и $t_{н. мин}$:

$$\bar{Q}'''_{м. ср} = \bar{Q}_{м. макс} t_{н. ср}/t_{н. макс}, \quad \bar{Q}'''_{м. мин} = \bar{Q}_{м. макс} t_{н. мин}/t_{н. макс}. \quad (13.26)$$

По рис. 13.4 при $\bar{Q}_{м.ср}'''$ находим $m_{макс}$ — вместимость подвижного состава, требующегося для обслуживания маршрутов с пассажирооборотом, лежащим у верхней границы кривой $f(\bar{Q}_м)$, и округляем ее до ближайшей $m'_{макс}$ по ряду вместимостей. Величины $\bar{Q}_{м.макс}$ и $\bar{Q}_{м.мин}'''$ определяют границы удельного пассажирооборота, осваиваемого подвижным составом с вместимостью $m'_{макс}$ в пределах интервалов $t_{н.мин}$ — $t_{н.макс}$.

Если полученные в результате проведенного расчета границы пассажирооборота, осваиваемого подвижным составом с вместимостью $m'_{мин}$ и $m'_{макс}$, перекрывают друг друга, то для обслуживания расчетных пассажироперевозок маршрутов рассматриваемого города потребуется два типа подвижного состава с вместимостью соответственно $m'_{мин}$ и $m'_{макс}$. Если они не перекрывают друг друга, то нужно проверить, перекрывает ли имеющийся разрыв подвижной состав с вместимостью $m'_{ср}$. Если перекрывает, то для обслуживания расчетных пассажироперевозок потребуется три типа подвижного состава с вместимостями $m'_{мин}$, $m'_{ср}$ и $m'_{макс}$. Этот вариант соответствует расчету, пример которого приведен на рис. 13.4. Если же разрывы останутся, то их можно заполнить аналогичным выбором подвижного состава соответствующей вместимости. Если разрыв занимает какой-то интервал $a—b$, то среднюю вместимость подвижного состава, требующегося для обслуживания пассажирооборота этого интервала, находят для среднего удельного пассажирооборота, который определяют как абсциссу центра тяжести фигуры $acdb$. Как и в предыдущих случаях, полученную таким образом теоретическую вместимость округляют до ближайшей из размерного ряда.

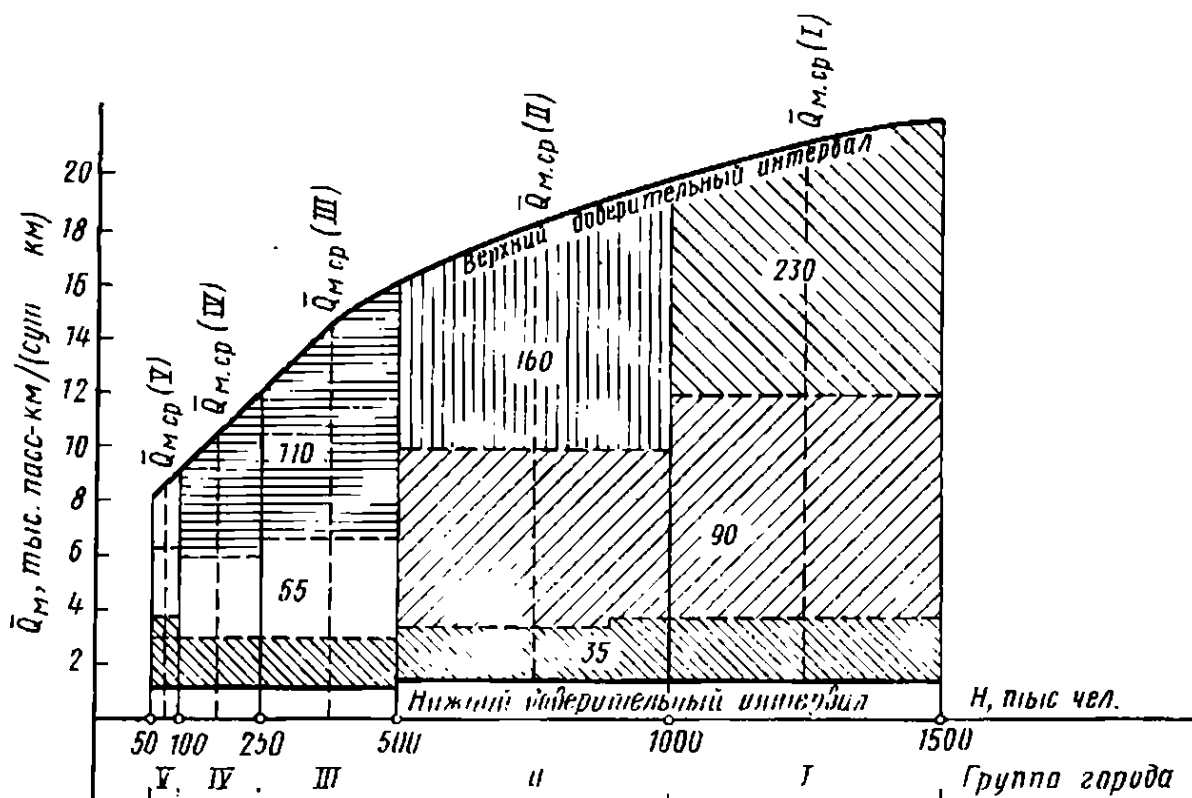


Рис. 13.5

Распределение вместимостей подвижного состава по удельному суточному пассажирообороту маршрутов для городов различной населенности по методу Самойлова

Результаты расчетов вместимостей подвижного состава, выполненных проф. Д. С. Самойловым для городов разных групп населенности [2], приведены на картограмме (рис. 13.5) и в табл. 13.3.

Таблица 13.3

Группа города по населенности, тыс. человек	Вместимость требующегося подвижного состава (пасс - мест)	Расчетные интервалы движения на маршрутах, мин		Границы интервала осваиваемого удельного пассажирооборота маршрутов, тыс. пасс-км/(км-сут)	
		минимальные	максимальные	нижняя	верхняя
I (1000—2000)	35	2	7	1,4	4,9
	90	2,3	7	3,6	12,8
	230	3,2	7	10,1	22,0
II (500—1000)	35	2	7	1,4	4,9
	90	2	7	3,7	12,8
	160	2,7	7	7,6	19,7
III (260—600)	35	2	8	1,4	5,4
	65	2	8	2,5	8,4
	110	2	4	4,1	16,2
IV (100—250)	35	2	10	1,2	5,9
	65	2	8	2,4	9,6
	110	2,4	8	3,6	12,0
V (50—100)	35	2	10	1,3	6,2
	65	2	8	2,2	9,0

Расчет позволяет распределить подвижной состав между маршрутами по их удельному пассажирообороту и определить требующееся количество подвижного состава разной вместимости для обслуживания расчетных пассажироперевозок. Выполнив для городов каждой группы населенности построения, аналогичные приведенным на рис. 13.4, получим области использования подвижного состава разной вместимости, частично перекрывающие друг друга. Зоны перекрытия показывают интервалы пассажирооборота, в пределах которых может быть использован подвижной состав и той, и другой вместимости. Центры тяжести этих площадок определяют абсциссы точек A и B , делящих расчетный интервал пассажирооборота на площадки ω_1 , ω_2 и ω_3 — зоны обслуживания расчетного пассажирооборота подвижным составом разной вместимости. Эти построения, выполненные для городов разной группы населенности, показаны на рис. 13.6 ($a—d$ — соответственно I—V группы населенности). Площади ω_1 , ω_2 и ω_3 пропорциональны объемам пассажирооборота (в процентах), выполняемого подвижным составом соответствующей вместимости. Их численные величины даны в табл. 13.4. Последняя показывает, что в городах I—IV групп населенности основная масса пассажироперевозок должна выполняться подвижным соста-

вом средней вместимости (65—90 пасс-мест). Удельный вес подвижного состава малой вместимости в пассажироперевозках не превышает 20%, причем уменьшается с ростом населенности города. Наоборот, доля пассажироперевозок, выполняемых подвижным составом большой вместимости, с ростом населенности городов должна увеличиваться. Если процентное распределение подвижного состава по вместимости, рассчитанное для рассматриваемого города, обозначить p_1 , p_2 и p_3 , а общее расчетное количество требующегося подвижного состава в движении — $N_{дв}$, то распределение его по вместимости будет составлять

$$N_1 = N_{дв} p_1; \quad N_2 = N_{дв} p_2; \quad N_3 = N_{дв} p_3. \quad (13.27)$$

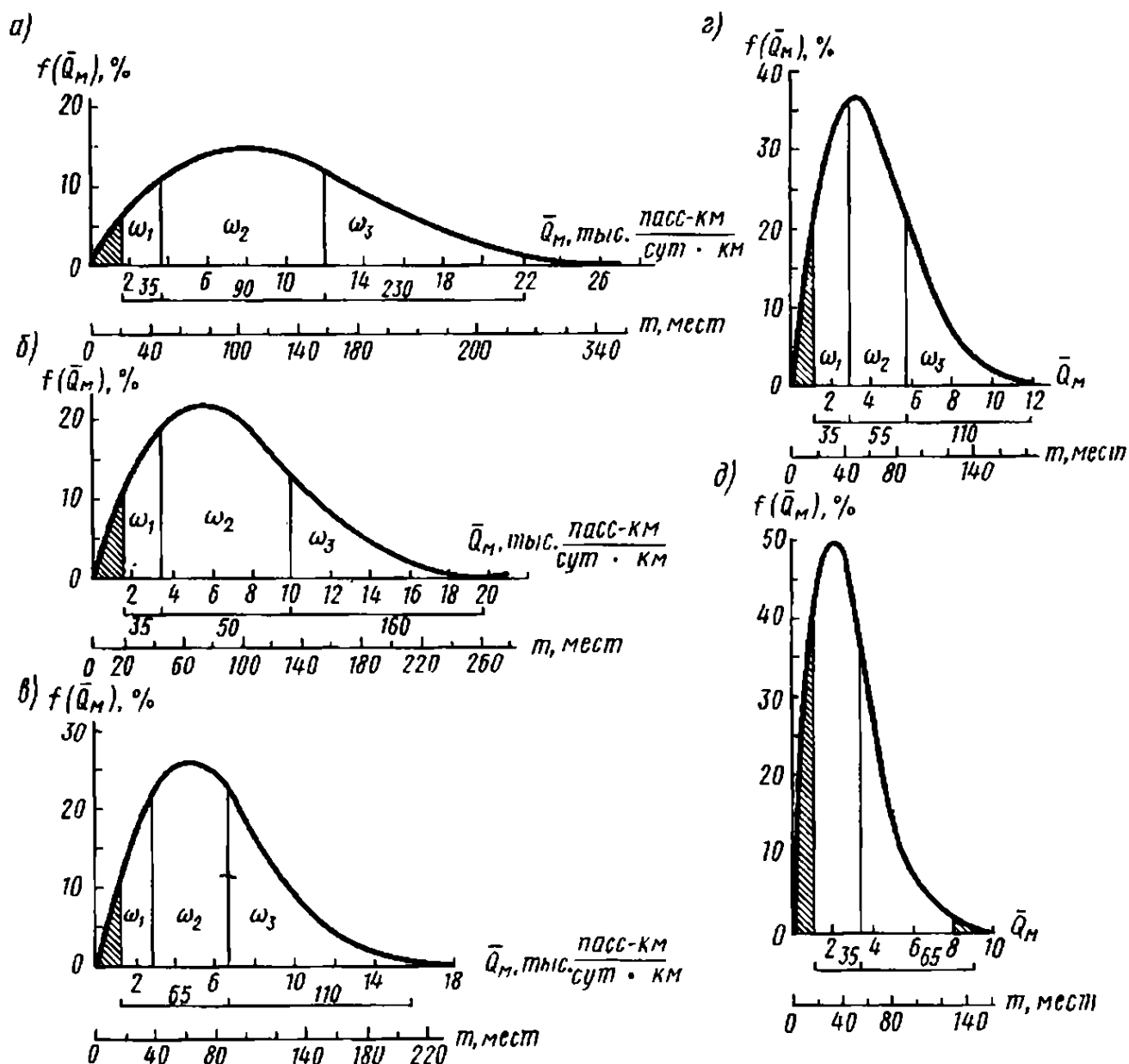


Рис. 13.6

Распределение вместимостей подвижного состава по удельному суточному пассажирообороту маршрутов для городов различной населенности и осваиваемые ими объемы пассажироперевозок

Таблица 13.4

Группа города по населенности, тыс. человек	Вместимость требующегося подвижного состава, пасс - мест	Границы интервала оптимального удельного пассажиро-оборота маршрутов, тыс. пасс-км/(км-сут)		Объем выполняемых пассажиро-перевозок, %		
		нижняя	верхняя	минимальный	средний	максимальный
I (1000—2000)	35 90 230	1,4 3,6 12	3,6 12 22	11 74 15	8 64 28	8 62 30
II (500—1000)	35 90 160	1,4 3,3 10	3,3 10 19,7	20 67 13	15 65 20	14 63 23
III (250—500)	35 65 110	1,35 2,8 6,8	2,8 6,8 16,2	22 58 20	15 48 37	13 47 40
IV (100—250)	35 65 110	1,17 2,8 5,7	2,8 5,7 12	42 45 13	30 50 20	20 48 32
V (50—100)	35 65	1,25 3,4	3,4 9	70 30	66 34	48 52

§ 13.4. Выбор вариантов систем ГМПТ по данным расчета требующегося ряда вместимостей подвижного состава

Системы ГМПТ должны выбираться по комплексу технико-экономических показателей: критерию максимума народнохозяйственной эффективности, надежности всех звеньев, соответствия планировочно-градостроительным и эргономико-экологическим требованиям, безопасности движения и др. Методики выбора вариантов ГМПТ, которая учитывала бы все эти требования, нет. Поэтому в настоящее время сочетание видов транспорта в системах ГМПТ и распределение пассажироперевозок по ним имеют часто случайный характер. Более или менее четко прослеживаются только две закономерности в этом вопросе: с ростом населенности города возрастает тенденция увеличения вместимости используемых видов подвижного состава и количества используемых видов ГМПТ с одного-двух в малых и средних городах до трех-четырех в крупных и крупнейших.

Один из возможных теоретических методов выбора видов ГМПТ основан на данных расчета требующегося для рассматриваемого города ряда вместимостей подвижного состава в связи с тем, что рядом вместимости соответствует вполне определенный типаж подвижного состава (рис. 13.7). Выбор видов транспорта для системы ГМПТ заданного города

на основе найденного для него расчетного ряда вместимостей подвижного состава включает в себя:

- 1) составление вариантов транспортных систем по данным рис. 13.7;
- 2) проверку их соответствия заданным интервалам движения на городских маршрутах;

- 3) технико-экономический выбор наиболее экономичных вариантов.

На основании расчетов требующихся рядов вместимости и сравнения их с типажом современного подвижного состава Д. С. Самойловым составлена табл. 13.5 вариантов систем ГМПТ по группам городов.

По сравнению с приведенным в таблице количество возможных вариантов ГМПТ может быть расширено, так как одной вместимости соответствует обычно несколько видов транспорта. Однако по соображениям удобства эксплуатации системы ГМПТ малых городов следует создавать на базе одного вида транспорта, средних — на базе двух видов транспорта, хотя могут быть и исключения.

Потребность в проверке соответствия выбранных вариантов ГМПТ заданным интервалам движения возникает в тех случаях, когда фактическая вместимость m_{ϕ} подвижного состава того или другого вида транспорта отличается от требуемой размерным рядом. При увеличении вместимости транспортных средств требующийся маршрутный интервал между ними растет, а при уменьшении — уменьшается. Если, следовательно, для заданных пассажироперевозок требуется подвижной состав с расчетной вместимостью m_p , причем соответствующий ей маршрутный интервал равен $t_{н.р}$, то при использовании для этой же цели подвижного состава вместимостью m_{ϕ} маршрутный интервал потребуется изменить до $t_{н.ф}$. Учитывая пропорциональную зависимость между вместимостью и интервалом движения транспортных средств, можно составить отношение: $m_p/m_{\phi} = t_{н.р}/t_{н.ф}$, откуда

$$t_{н.ф} = t_{н.р} m_{\phi} / m_p. \quad (13.28)$$

Пользуясь (13.28), можно найти максимальный и минимальный фактические интервалы движения $(t_{н.макс})_{\phi}$ и $(t_{н.мин})_{\phi}$, соответствующие принятой вместимости m_{ϕ} :

$$(t_{н.мин})_{\phi} = (t_{н.мин})_p m_{\phi} / m_p; \quad (t_{н.макс})_{\phi} = (t_{н.макс})_p m_{\phi} / m_p. \quad (13.29)$$

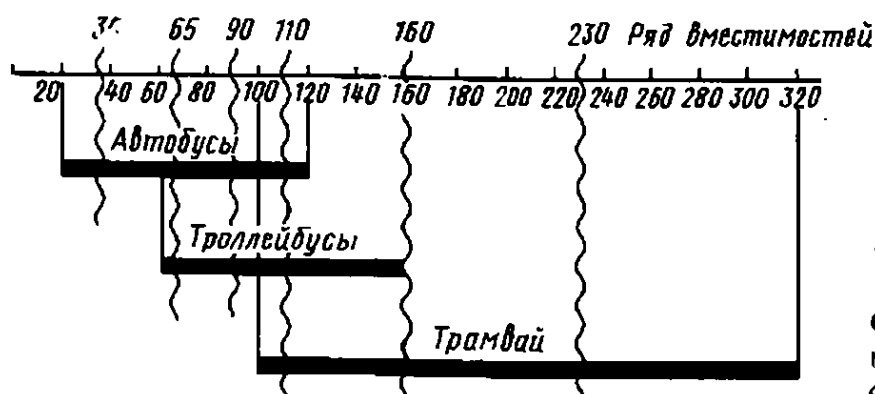


Рис. 13.7

Обеспечение расчетной вместимости ГМПТ подвижным составом

Таблица 13.5

Группа города по населенности, тыс. человек	Расчетный ряд вместимостей поданжного состава	Варианты систем ГМПТ по рис. 13.7	Доля осваиваемых пассажиро-перевозок, % (по данным табл. 13.4)
I (1000—2000)	35 90 230	Автобус малой вместимости » большой » Трамвай особо большой вместимости	8—11 62—74 15—30
	35 90 230	Автобус малой вместимости Троллейбус средней » Трамвай особо большой вместимости	11—8 74—62 15—30
	35 90 230	Микроавтобус (10—20 пассажиро-мест) Автобус малой вместимости » большой » Троллейбус средней вместимости Трамвай большой вместимости	11—8 74—62 15—30
II (500—1000)	35 90 160	Автобус малой вместимости » большой » Трамвай особо большой вместимости	20—14 67—63 13—23
	35 90 160	Автобус малой вместимости Троллейбус средней » Трамвай большой »	20—14 67—63 13—23
	35 90 160	Автобус малой » » большой » Троллейбус средней » Трамвай большой »	20—14 20—40 67—63 13—23
III (250—500)	35 65 110	Автобус малой » » средней » » большой »	22—13 58—47 20—40
	35 65 110	Автобус малой вместимости » средней » Трамвай большой »	22—13 58—47 20—40
	35 65 110	Автобус малой » Троллейбус малой » » большой »	22—13 58—47 20—40
IV (100—250)	35 65 110	Автобус малой » Троллейбус малой » Трамвай большой »	22—13 58—47 20—40
	35 65 110	Те же варианты, что в группе III городов, но с другим распределением пассажиро-перевозок	42—20 55—48 13—32
	35 65	Автобус малой вместимости » средней »	70—48 30—52
V (50—100)	35 65	Автобус малой вместимости » средней »	70—48 30—52

Пример. В заданном городе расчетный ряд требующихся вместимостей подвижного состава представлен вместимостями 35, 90 и 230 пасс.-мест. В соответствии с имеющимся типажом для системы ГМПТ этого города могут быть выбраны автобусы с минимальной вместимостью 37 пасс.-мест, троллейбусы вместимостью 88 пасс.-мест или автобусы большой вместимости на 80 пасс.-мест и восьмиосные трамвайные вагоны вместимостью 235 пасс.-мест. Проверить возможность использования этих видов ГМПТ по допустимым предельным маршрутным интервалам $t_{н.мин} = 2$ мин и $t_{н.макс} = 10$ мин.

Решение. Пользуясь данными табл. 13.3 и зависимостями (13.29), определим изменение интервалов движения, связанное с выбором автобусов вместимостью 37 пасс.-мест вместо 35, соответствующих размерному ряду:

$$(t_{н.мин})_{\Phi} = (t_{н.мин})_p m_{\Phi}/m_p = 2 \cdot 37/35 = 2,1 > 2 \text{ мин};$$

$$(t_{н.макс})_{\Phi} = (t_{н.макс})_p m_{\Phi}/m_p = 7 \cdot 37/35 = 7,4 < 10 \text{ мин.}$$

Полученные интервалы лежат в допустимых (2—10 мин) пределах. Аналогично для автобуса вместимостью 80 пассажиров взамен 90 из размерного ряда:

$$(t_{н.мин})_{\Phi} = 2 \cdot 80/90 = 2,05 > 2 \text{ мин};$$

$$(t_{н.макс})_{\Phi} = 7 \cdot 80/90 = 6,2 < 10 \text{ мин.}$$

Пример расчета показывает, что при выборе вместимости $m_{\Phi} > m_p$ проверять следует только максимальный интервал, так как минимальный при этом увеличивается и заведомо не может выйти за нижнюю границу, а при выборе вместимости $m_{\Phi} < m_p$ — соответственно только минимальный, так как максимальный при этом уменьшается и, следовательно, тоже не может выйти за верхнюю границу. В частности, для восьмиосного трамвайного вагона вместимостью 235 мест, заменяющего позицию размерного ряда 230 мест, следует проверять только максимальный интервал:

$$(t_{н.макс})_{\Phi} = 7 \cdot 235/230 = 7,14 < 10 \text{ мин.}$$

Итак, в рассматриваемом примере проверка показывает, что по критерию допустимых маршрутных интервалов могут быть взяты все принятые виды ГМПТ.

Технико-экономические сравнения вариантов выполняют в тех случаях, когда для освоения той или другой доли пассажироперевозок может быть взято несколько видов ГМПТ. Они заключаются в сравнении приведенных строительно-эксплуатационных затрат и выборе такого варианта ГМПТ, который обеспечивает их минимум.

Практический выбор экономических видов ГМПТ производят в следующем порядке:

1. В соответствии с группой населенности заданного города рассматривают все основные варианты транспортных систем по табл. 13.5 и исключают те из них, которые не могут быть приняты по тем или другим ограничениям (архитектурно-планировочным, санитарно-гигиеническим, экономическим и др.).

2. Выделяют виды транспорта и типы подвижного состава, не имеющие конкурирующих по вместимости. Так, вместимости 35—40 и 50—60 пасс.-мест имеют только автобусы, вместимости 230 пасс.-мест — только подвижной состав трамвая. Виды транспорта этих вместимостей включают в систему ГМПТ без сравнения, если они проходят по другим показателям. Одними из главных в последних являются достаточность

инвентарного количества требующегося подвижного состава для организации транспортного хозяйства и экономические показатели. Если требующееся количество подвижного состава меньше минимального по соображениям возможности организации транспортного хозяйства, то рассматривают возможности его замены подвижным составом других вместимостей, принятых по расчету. Обязательными критериями возможности замены одного вида транспорта или типа подвижного состава другими являются достаточность провозной способности и соответствие требующейся частоты движения предельным маршрутным интервалам.

3. В результате исключения части видов ГМПТ по заданным ограничениям и выделения тех, которые не имеют конкурирующих по вместимости, в ряду требующихся расчетных вместимостей остаются только те, которые могут быть обеспечены разными видами транспорта. Они подлежат сравнению по приведенным затратам.

Применительно к городам VI и V групп населенности сравнивать варианты ГМПТ по видам транспорта практически не приходится, так как требующиеся в этом случае вместимости подвижного состава обеспечиваются только одним видом транспорта — автобусом. В городах IV и III групп населенности вместимость 110 пасс-мест может быть обеспечена тремя видами транспорта — трамваем, троллейбусом и автобусом. Но ни трамвай, ни троллейбус включать в транспортную систему обычно нецелесообразно, так как требующегося подвижного состава этой вместимости сравнительно мало. Обычно принимают вариант транспортной системы из автобусов трех вместимостей. В городах I и II групп населенности пассажироперевозки, требующие использования подвижного состава вместимостью 90 пасс-мест, могут быть обеспечены автобусом или троллейбусом, которые нужно сравнить по приведенным народнохозяйственным затратам S на единицу транспортной работы (1 пасс-км), определяемым по (4.7). При поэтапном строительстве системы ГМПТ в течение длительного времени t приведенные затраты каждого этапа определяют с учетом отдаленности затрат:

$$S_{kt} = \sum_{k=1}^{k=n} \beta_k K_k + \sum_{k=1}^{k=n} \beta_k \mathcal{E}_k + \mathcal{E}_t / (1 + \epsilon_n)^t, \quad (13.30)$$

где $\beta_k = 1/(1 + \epsilon_n)^t$ — коэффициент отдаленности затрат k -го этапа; K_k — капитальные затраты по k -му этапу; $\mathcal{E}_k$ — соответствующие ему годовые эксплуатационные расходы; $\mathcal{E}_t$ — приведенные эксплуатационные затраты заключительного этапа.

Применяют два метода экономического сравнения видов ГМПТ — аналитический и графо-аналитический. Более нагляден графо-аналитический, при котором по (4.7) строят зависимости $S(Q)$, подобные приведенным на рис. 13.1. Точки пересечения этих зависимостей, построенных для сравниваемых видов ГМПТ, определяют границы пассажирооборота, обеспечивающего их рациональное использование. В частности, по данным, представленным на рис. 13.1, как уже отмечалось, для удельных пассажирооборотов до 4,5 тыс. пасс-км/(км·сут) наиболее выгоден сочлененный автобус, а при больших удельных пассажирооборотах — шестиосный трамвай.

§ 13.5. Проектирование и расчет элементов систем ГМПТ

Проектирование систем ГМПТ связано не только с проектированием ТС, выбором видов ГПТ и расчетом количества подвижного состава, требующегося для обслуживания заданных пассажироперевозок, но и с проектированием всех других элементов транспортной системы: путевых сооружений, депо и гаражей для хранения и технического обслуживания подвижного состава, заправочных станций автотранспорта, тяговых подстанций городского электрического транспорта и др., причем результаты этого проектирования оказывают прямое влияние на проектирование транспортной сети и выбор видов ГПТ.

Исходными данными для проектирования и расчета всех элементов транспортных систем ГМПТ служат: запроектированная ТС и маршрутная система, картограммы пассажиропотоков, результаты выбора видов ГПТ и расчета требующегося количества подвижного состава, а главной идеей выбора технических и организационных решений — обеспечение максимальной приведенной эксплуатационной экономичности каждого из элементов системы ГМПТ в отдельности и всей ее в целом. Общими принципами решения этой задачи являются: максимальное использование типовых решений, конструкций индустриального производства, прогрессивной технологии, экономико-математических методов организации производства, автоматических и автоматизированных систем управления и т. п.

Одним из наиболее дорогостоящих элементов систем ГМПТ являются путевые сооружения и устройства. Выбор их предопределяется выбором видов ГМПТ: путевые сооружения автобуса и троллейбуса — обычное усовершенствованное асфальтобетонное или цементобетонное дорожное покрытие, рассчитанное на тяжелые виды городского транспорта; рельсовые виды ГМПТ (трамвай и метрополитен) имеют специальные путевые сооружения и устройства. Проектирование и расчет путевых сооружений и устройств регламентируется соответствующими нормами СНиП и ГОСТов. Их прочностные характеристики выбираются в соответствии с нагрузкой колеса и частотой движения, а конструкции — в расчете на преимущественно индустриальные методы изготовления и монтажа. Современными типами дорожных покрытий магистральных городских дорог являются монолитные и сборные из цементобетонных плит заводского изготовления с асфальтовым или цементным покрытием. Стоимость их сооружения и эксплуатации составляет порядка 90 тыс. руб. на 1 км полосы движения шириной 3,5—3,75 м. Распределение ее между автотранспортом и МПТ — автобусами или троллейбусами — определяется нагрузкой на ось и частотой движения (осей в час). Обычно на автобус и троллейбус относят порядка 12% стоимости дороги — около 10 тыс. руб на 1 км длины полосы движения. Стоимость сооружения 1 км двойного рельсового пути трамвая составляет около 100 тыс. руб, стоимость прокладки 1 км линии метрополитена (включая сооружения системы электроснабжения) — около 10—18 млн. руб.

Для организации хранения подвижного состава ГМПТ могут использоваться специальные эксплуатационные гаражи и депо, для организации технического обслуживания и ремонта — службы линейного ремонта

и скорой технической помощи, депо и гаражи, станции технического обслуживания, авторемонтные (АРМ), вагоноремонтные (ВРМ) и троллейбусоремонтные (ТРМ) мастерские, авторемонтные (АРЗ), вагоноремонтные (ВРЗ) и троллейбусоремонтные (ТРЗ) заводы. Современная тенденция состоит в специализации этих хозяйств по видам выполняемой работы и централизации. Линейный ремонт подвижного состава организуют депо на конечных станциях прикрепленных к ним маршрутов силами линейных слесарей, которые устраняют мелкие неисправности подвижного состава по заявкам водителей. Скорая техническая помощь организуется обычно в виде отдельной аварийно-восстановительной службы при управлениях пассажирского транспорта (УПТ), трамвайно-троллейбусных управлениях (ТТУ) или автобусных управлениях (АУ) для ликвидации различного рода неисправностей, связанных с потерей способности поездов к передвижению (сходы вагонов с рельсов, заклинивание тяговых редукторов, обрывы карданных передач и др.). Для выполнения восстановительных работ этого характера и эвакуации подвижного состава в депо аварийно-восстановительная служба обеспечивается соответственно оборудованными транспортными средствами. Депо и гаражи предназначают для хранения, технического обслуживания и организации выпуска подвижного состава на линию. Здесь же выполняют плановые и внеплановые сравнительно малотрудоемкие ремонты подвижного состава. В крупных и крупнейших городах, имеющих несколько депо для однотипного подвижного состава, целесообразна специализация их по видам технического обслуживания и ремонта, требующих специального оборудования.

Главными вопросами проектирования депо и гаражей являются вопросы выбора их вместимости и расположения на ТС, определяемые производственным процессом, эксплуатационными и экономическими соображениями. С ростом вместимости депо и гаражей уменьшаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы в расчете на одно машино- или вагоно-место, но усложняется организация выпуска, хранения и технического обслуживания, а также увеличиваются бесполезные, так называемые нулевые, пробеги подвижного состава. Благодаря этому зависимость суммарных расходов, связанных с организацией хранения, технического обслуживания и выпуска подвижного состава, от вместимости депо и гаражей имеет точку минимума.

Основными характеристиками, определяющими экономическую вместимость депо и гаражей, являются общее количество подвижного состава в транспортном хозяйстве и плотность движения. По современным представлениям для хозяйств с инвентарем свыше 1000 единиц подвижного состава средняя вместимость депо и гаражей должна составлять порядка 200—250 мест, при инвентаре до 1000 единиц — 100—200 мест, причем по критерию минимума нулевых пробегов в районах с более плотным движением должны располагаться более мощные депо и гаражи, а в районах с менее плотным движением — депо и гаражи меньшей вместимости. В Лондоне, например, в радиусе 8 км от центра города средняя вместимость автобусных гаражей составляет 200 мест, в зоне 8—16 км от центра — 100 мест и в зоне более 16 км от центра — 50 мест. Однако в практике градостроительства на эти общие закономерности

накладываются и другие, в частности стремление высвобождения городских центров от вспомогательной застройки и размещения предприятий ГМПТ на периферии.

Расположение депо и гаражей на транспортной сети выбирают по градостроительным соображениям, критерию минимума нулевых пробогов и удобства обслуживания маршрутов так, чтобы каждый маршрут мог обслуживаться поездами одного депо. Площадь трамвайных депо составляет порядка 250—300 м² на один вагон, троллейбусных — 200 м² на один троллейбус, автобусных — 100—150 м² на один автобус. Стоимость строительства депо и гаражей составляет в среднем для трамвайных вагонов 6,5—7,5 тыс. руб./место, для троллейбусов 6—7 тыс. руб./место и для автобусов 4,5—6,5 тыс. руб./место.

Ремонтные мастерские и заводы предназначают для выполнения крупных плановых и случайных ремонтов подвижного состава и изготовления запасных частей и агрегатов для депо и гаражей. Ремонтные мастерские могут быть отдельными или совмещенными с одним из эксплуатационных депо, которое в этом случае называют эксплуатационно-ремонтным. Ремонтные заводы всегда представляют собой самостоятельные хозрасчетные единицы, специализированные на ремонт подвижного состава одного или всех видов ГМПТ — трамвая, троллейбуса и автобуса. Современная тенденция состоит в создании зональных ремонтных баз ГМПТ, обслуживающих транспортные хозяйства ряда городов одной или нескольких смежных областей. Расширение зоны обслуживания позволяет создавать ремонтные заводы оптимальной мощности, максимально индустриализировать ремонты, повысить коэффициент использования оборудования ремонтного завода, снизить себестоимость и повысить качество ремонтов подвижного состава.

Хранение легковых автомобилей организуют в закрытых и открытых гаражах-гостиницах разного типа: одноэтажных и многоэтажных с въездными и выездными рампами или подъемниками, наземные, подземные и полуподземные. Современная тенденция состоит в проектировании многоярусных гаражей, обеспечивающих достаточно высокий коэффициент полезного использования городских территорий, так как в связи с непрерывным ростом автомобилизации проблема парковки превратилась в одну из главных градостроительных проблем крупных городов. Однако при этом приходится учитывать и соображения доступности связи гаражей с жилыми районами. При определении вместимости гаражей-гостиниц для легковых автомобилей рекомендуют принимать радиус обслуживания гаража порядка 0,5 км, чему соответствует примерно 150 га селитебной территории с населенностью около 15 тыс. человек. При уровне автомобилизации в 100 автомобилей на 1000 жителей в районе тяготения гаража будет находиться 1500 автомашин. Площадь одноэтажных гаражей рассчитывают из нормы 70—80 м² на один легковой автомобиль и 80—120 м² на один грузовой автомобиль. В многоэтажных она сокращается пропорционально этажности.

Для технического обслуживания легковых автомобилей организуют станции технического обслуживания либо как самостоятельные хозяйства, либо в составе крупных гаражей. Они выполняют уборку и мойку автомобилей, все виды их технического обслуживания и нетрудоемкий

ремонт. Крупный ремонт легковых автомобилей производят в специализированных авторемонтных мастерских или на авторемонтных заводах. Станции технического обслуживания, рассчитанные на обслуживание городских автомобилей, располагают вблизи основных городских транспортных узлов, а рассчитанные на обслуживание автомобилей, въезжающих в город, — на периферии у въездных магистралей.

Автозаправочные станции организуют обычно при всех крупных гаражах, а также размещают равномерно по всей территории города. Количество требующихся автозаправочных станций определяется периодичностью заправки автомобилей разного класса и производительностью бензоколонок. Обычно принимают периодичность заправки грузовых автомобилей 1—2 суток, легковых личных — 10 суток, легковых ведомственных — 3 суток, легковых такси — 1 сутки. Производительность одной бензоколонки составляет 150—200 заправок в день, причем нужно учитывать коэффициент неравномерности подхода автомобилей на заправку порядка 1,5.

Для электроснабжения ГЭТ используются тяговые подстанции и тяговые сети, образующие систему централизованного электроснабжения. Первые получают электрическую энергию от распределительных станций городской системы внешнего электроснабжения и осуществляют ее преобразование по уровню напряжения и роду тока, а вторые — передачу ее к подвижному составу ГЭТ. Один из самых важных и принципиальных вопросов проектирования системы электроснабжения ГЭТ заключается в выборе величины напряжения для передачи электрической энергии, который определяет технико-экономические характеристики и уровень электробезопасности ГЭТ. Исторически сложилось, что для электроснабжения трамвая и троллейбуса в настоящее время используют электрическую энергию постоянного тока напряжением 600 В на шинах тяговых подстанций (среднее в контактной сети — 550 В), для электроснабжения метрополитена — электрическую энергию постоянного тока напряжением 825 В на шинах тяговых подстанций (среднее в контактной сети — 750 В). Однако назрела проблема повышения напряжения в системах электроснабжения ГЭТ примерно вдвое, что и следует осуществлять при проектировании новых систем ГМПТ. Вообще следует заметить, что возможности изменения технических решений действующих систем ГМПТ практически близки к нулю, тогда как новое проектирование предоставляет для этого все возможности, которые и следует использовать проектировщикам. Мало того, что при проектировании новых систем ГМПТ должны быть приняты прогрессивные технические решения всех их элементов, необходимо по возможности заложить в них достаточные возможности технической модернизации в будущем или необходимые резервы.

Современные тяговые подстанции проектируют автотелеуправляемыми с полупроводниковыми выпрямительными агрегатами на базе элементов индустриального изготовления — комплексных распределительных устройств переменного и постоянного тока (КРУ), стандартных выпрямительных агрегатов и т. д. В тяговую сеть входит контактная сеть, рельсовая сеть трамвая и кабельная сеть в виде питающих кабельных линий, соединяющих положительные шины тяговых подстанций

с контактной сетью, и отсасывающих линий, соединяющих отрицательные шины тяговых подстанций с рельсовой сетью или минусовым контактным проводом.

Требуемое количество тяговых подстанций определяется протяженностью сети, ее конфигурацией, плотностью размещения в плане города, интенсивностью движения и принятой схемой электроснабжения. При предварительном проектировании необходимую мощность и количество тяговых подстанций определяют из расчета требуемой мощности на один вагон трамвая или троллейбус в движении, которая в среднем составляет для четырехосного моторного трамвайного вагона — 35 кВт, шестиосного — 47 кВт, восьмиосного — 62 кВт, поезда из двухосного моторного и прицепного вагонов — 48 кВт, троллейбуса средней вместимости — 40 кВт, большой — 47 кВт и особо большой — 60 кВт. В качестве типовой можно принимать тяговую подстанцию мощностью 1000 или 2000 кВт. Протяженность контактных $l_{к.с}$ и кабельных $l_{к.б}$ сетей определяют как функцию длины транспортных сетей L_0 в однопутном исчислении:

$$l_{к.с} = L_0 \gamma, \quad l_{к.б} = l_{к.с}/3, \quad (13.31)$$

где γ — коэффициент, учитывающий удлинение контактных сетей за счет оборотных петель и ответвлений на конечных станциях.

Затраты на сооружение тяговых подстанций трамвая составляют 3—3,8 тыс. руб. на один вагон в движении, троллейбуса — 4—5,5 тыс. руб. на один троллейбус в движении, на сооружение контактной и кабельной сети трамвая — 13 тыс. руб/км, троллейбуса — 18 тыс. руб/км.

Глава 14 ПРИМЕРЫ ПРОЕКТНЫХ РАСЧЕТОВ ГМПТ

§ 14.1. Расчет ГМПТ для города с численностью населения 300 тыс. человек

Расчеты городских транспортных систем проводят на ЭВМ по специальным программам.* Однако для более четкого представления их содержания рассмотрим примеры ручного расчета, имеющие математическую базу, аналогичную машинным.

Исходные данные: план города (рис. 14.1), где I—IV — промышленные зоны; V — зоны загородного отдыха (ЦПКиО); VI — стадион; VII — культурно-бытовой городской центр (КБГЦ), 1—37 — участки графа транспортной сети; расчетная численность населения — 300 тыс. человек, селитебная площадь — 2000 га ($F_{сел} = 20 \text{ км}^2$), промышленные зоны I—IV (заштрихованы) имеют численность трудящихся соответственно 25, 15, 12 и 8 тыс. человек, емкость ЦПКиО (зона V) — 15 тыс. посетителей, общегородского стадиона (зона VI) — 10 тыс. зрителей.

* При составлении использованы данные [12].

Остальные центры транспортного тяготения считаем распределенными по территории города равномерно.

Предварительное проектирование транспортной сети. Заданный город относится к городам III группы населенности, для которых используют наземные виды ГМПТ, а в качестве транспортной сети (ТС) — уличную дорожную сеть. Исходя из этого намечаем линии ГМПТ по магистральным улицам городского и районного значения с учетом критериев оптимизации (см. § 5.1), т. е. так, чтобы обеспечить: кратчайшие связи жилых и промышленных районов города, расстояние пешеходной доступности линий на уровне не более 500—700 м, плотность сети порядка 1,5—2,0 км/км². Вначале намечаем основную скоростную ТС, затем вспомогательную. Принятая по этим критериям ТС заданного города показана на рис. 14.1. Подсчитываем общую длину запроектированной сети $L_c = 44,7$ км и ее плотность. Строим точечную планограмму расселения и определяем транспортную обслуженность, соответствующую 500-метровой ($n_{0,5}$) и 750-метровой ($n_{0,75}$) зонам пешеходной доступности транспортной сети. Для принятой транспортной сети

$$\delta = L_c / F_{\text{сез}} = 44,7 / 20 = 2,2 \text{ км/км}^2. \quad (14.1)$$

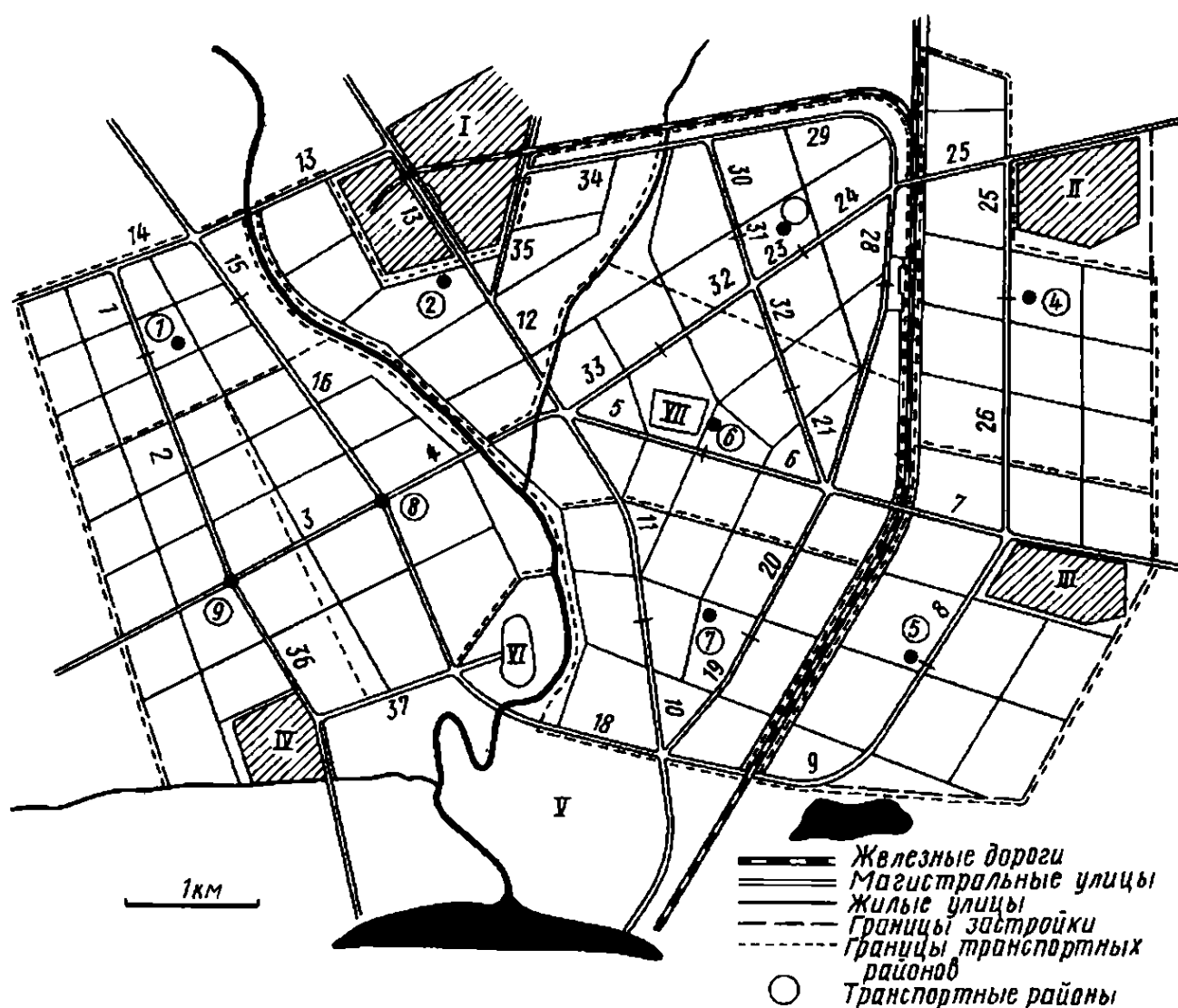


Рис. 14.1

Генеральный план города с разбивкой на транспортные районы

Деление города на транспортные районы. Количество и размеры транспортных районов принимают с учетом метода расчета системы ГМПТ (ручной или машинный), принятой ТС, планировочной структуры города и его размеров.

Делим территорию города на девять транспортных районов (рис. 14.1), проводя их границы преимущественно по границам транспортного влияния линий ТС с тем, чтобы последние были осями их симметрии. В каждом транспортном районе находим центр тяжести (на рисунке показаны жирными точками) и опускаем из них перпендикуляры на ближайшие транспортные линии.

Определение объема передвижений и средней ожидаемой подвижности населения. Находим площади транспортных районов и численность населения в них (табл. 14.1).

Структура населения города по генеральному плану складывается из самостоятельного населения $H_c = 54\%$ и несамодеятельного $H_{nc} = 46\%$. Считая структуру населения всех транспортных районов одинаковой, можно подсчитать количество населения всех транспортных районов по структурным группам. Пусть ожидаемая подвижность городского населения составляет: для самостоятельного населения — трудовая $p_{o.t.c} = 580$ передвижений/год на жителя, культурно-бытовая $p_{o.кб.c} = 320$ передвижений/год на жителя; для несамодеятельного населения — культурно-бытовая $p_{o.кб.nc} = 350$ передвижений/год на жителя.

Общее количество трудовых и культурно-бытовых передвижений населения транспортного района $i = 1$:

$$A_{o.t.i} = p_{o.t.c.i} H_{ci} = 580 \cdot 14,58 = 8456,4 \text{ тыс. передвижений/год;}$$

$$A_{o.кб.i} = p_{o.кб.c.i} H_{ci} + p_{o.кб.nc.i} H_{nci} =$$

$$= 320 \cdot 14,58 + 350 \cdot 12,42 = 9012,6 \text{ тыс. передвижений/год; } (14.2)$$

Данные табл. 14.1 позволяют определить среднюю подвижность одного городского жителя

$$p_o = \sum_{i=1}^{i=k} A_i / H = 194100 / 300 = 647 \text{ передвижений/год,}$$

где $k = 9$ — принятое количество транспортных районов.

Составление графа транспортной сети и выбор кратчайших путей передвижений между транспортными районами. Транспортную сеть города разбиваем на участки так, чтобы в их пределах не наблюдалось резкого изменения пассажиропотоков. Для этого за граничные точки участков принимаем транспортные узлы (точки пересечения и разветвления ТС) и центры транспортных районов (или основания перпендикуляров, опущенных из них на линии ТС). Нумеруем участки 1—37 (рис. 14.1).

Таблица 14.1

Характеристики транспортных районов	Характеристика численности и подвижности населения транспортных районов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Площадь F_i , га	180	260	250	140	140	290	300	240	200	2000
Плотность населения n_i , чел/га	150	140	150	140	140	160	150	150	150	Средняя по городу — 150
Численность населения N_i , тыс. чел.	27	36,5	37,5	19,6	19,6	46,4	45	38,4	30	300
Самодетельного населения N_{ci} , тыс. чел.	14,58	19,71	20,25	10,58	10,58	25,06	24,3	20,74	16,2	162
Несамодетельного населения N_{nci} , тыс. чел.	12,42	16,79	17,25	9,02	9,02	21,34	20,7	17,66	13,8	138
Количество трудовых передвижений A_0 т.е. передвижений самодетельного населения A_{0ci} , тыс. передви.	8456,4	11431,8	11745	6136,4	6136,4	14534,8	14094	12029,2	9396	9396
Количество культурно-бытовых передвижений населения $A_{0.кб_i}$, тыс. передви.	9012,6	12183,7	12517,5	6542,6	6542,6	15488,2	15021	12817,8	10014	100140
Общее количество передвижений населения A_{0i} , тыс. передви.	17469	23615,5	24262,5	12679	12679	30023	29115	24847	19410	194100

С учетом масштаба генерального плана определяем их длины (км):

Участок	. .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Длина	. .	0,85	1,55	1,33	1,45	0,95	1,05	1,40	1,10	2,60	0,93	1,60
Участок	. .	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Длина	. .	1,25	2,60	0,65	0,80	1,60	1,37	1,70	1,05	1,25	0,80	0,75
Участок	. .	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Длина	. .	0,45	0,85	1,75	1,65	1,55	0,70	1,80	0,90	0,30	0,78	0,88
Участок	. .	34	35	36	37	Итого						
Длина	. .	1,35	0,90	1,25	1,05	44,7						

Примем гипотезу распределения корреспонденций между центрами транспортного тяготения по кратчайшим путям следования. Намечаем кратчайшие связи центров транспортных районов между собой и с общегородскими центрами транспортного тяготения (промышленными зонами, КБГЦ, ЦПКиО, стадионом) и составляем таблицу путей следования между ними (табл. 14.2). Зная длины участков передвижения и используя данные табл. 14.2, определяем кратчайшие расстояния транспортных передвижений между центрами транспортных районов города. Полученные данные сводим в табл. 14.3.

Выбор маршрутной системы. Пользуясь данными табл. 14.2 и исходными данными транспортной активности населения (табл. 14.1), намечаем маршрутную систему города по критериям обеспечения беспересадочности передвижений между главными пассажирообразующими центрами, маршрутного коэффициента на уровне $k_m = 1,5 \div 2,5$ и нормальной длины маршрутов.

Принимаем десять маршрутов (рис. 14.2): два кольцевых 6 и 7 и маятниковые длиной от 5 км (3) до 18,1 км (6). Общая длина принятых маршрутов

$$\sum_k l_m = 89,8 \text{ км.}$$

Маршрутный коэффициент

$$k_m = \sum_k l_m / L_c = 89,8 / 44,7 = 2,0 \text{ км/км}^2.$$

В соответствии с принятой маршрутной системой определяем количества пересадок в транспортных передвижениях между центрами транспортного тяготения (табл. 14.4).

Расчет трудности сообщения между центрами транспортных районов. Трудность транспортных передвижений между центрами транспортного тяготения

$$t_{отj} = 2t_{неш} + t_{ож} + t_{тр},$$

складывается из:

а) затрат времени на пешеходный подход из центров отправления до остановок ГМПТ:

Таблица 14.2

Пункты прибытия	Кратчайшие пути транспортных передвижений между центрами транспортного тяготения для пунктов отправления (транспортных районов)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Промышленные зоны:	I	1-14-13	35	30-34-35	25-29-34-35	8-7-6-5-12-35	5-12-35	11-12-35	4-12-35	2-1-14-13
	II	2-3-4-33-32-23-24-25	35-34-29-25	24-25	25	8-25-25	32-23-24-25	20-27-28-25	4-33-32-23-24-25	3-4-33-32-23-24-25
	III	2-3-4-5-6-7	12-5-6-7	31-22-21-7	26	8	6-7	20-7	4-5-6-7	36-37-18-9-8
IV	2-36	12-4-3-36	23-32-33-4-3-36	25-8-9-18-37	9-18-37	33-4-3-36	19-18-37	17-37	36	
	Стадион	2-35-37	12-11	31-32-33-11	26-8-9-10	9-10	5-11	10-18	17	36-37
ЦПКНО	16-17-18	12-11-10-18	31-22-21-20-19-18	26-8-9-18	9-18	5-11-10-18	10-18	17-18	36-37-18	
КБГЦ	2-3-4-5	12-5	23-32	26-7-6	8-7-6	5	11-5	4-5	3-4-5	
Транспортные районы:	I	15-13	2-3-4-33-32-23	16-4-33-32-23-24-25	16-4-5-6-7-8	16-4-5	16-17-18-19	2-3	2	-

Таблица 14.3

Пункты прибытия	Расстояния (км) кратчайших передвижений между центрами транспортного тяготения города для пунктов отправления (транспортных районов)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Промышленные зоны:									
I	4,10	0,90	3,15	5,80	6,65	3,10	3,75	3,60	5,65
II	9,04	5,80	2,60	1,75	4,50	3,83	5,25	6,16	7,49
III	7,73	4,65	3,25	1,65	1,10	2,45	2,65	4,85	7,70
IV	2,80	5,28	6,14	8,10	5,35	4,91	3,80	2,42	1,25
Стадион	3,85	2,85	3,56	6,28	3,53	2,65	2,63	1,37	2,30
ЦПКНО	4,57	5,48	5,85	7,05	4,30	5,18	2,63	3,07	4,00
КБГЦ	5,28	2,20	1,23	4,10	3,65	0,95	2,65	2,40	3,73
Транспортные районы:									
1	—	3,40	6,44	7,66	7,45	3,90	5,62	2,88	1,65
2	—	—	3,15	5,96	5,75	2,20	2,85	2,70	4,03
3	—	—	—	2,60	4,35	1,08	3,10	3,56	4,89
4	—	—	—	—	2,75	4,10	6,28	6,16	7,49
5	—	—	—	—	—	3,55	3,53	5,67	6,60
6	—	—	—	—	—	—	2,30	2,40	3,66
7	—	—	—	—	—	—	—	4,12	4,38
8	—	—	—	—	—	—	—	—	1,33
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—

$$t_{\text{пеш}} = \frac{60}{v_{\text{пеш}}} \left(\frac{1}{3\delta} + \frac{l_{\text{п}}}{4} \right) = \frac{60}{4} \left(\frac{1}{3 \cdot 2,2} + \frac{0,5}{4} \right) = 4 \text{ мин},$$

где $\delta = 2,2 \text{ км/км}^2$ [(см. 14.1)]; $v_{\text{пеш}} = 4 \text{ км/ч}$ — скорость пешехода; $l_{\text{п}} = 0,5 \text{ км}$ — принятая средняя длина перегона;

б) затрат времени на ожидание транспорта (принимая средный маршрутный интервал $t_{\text{и}} = 6 \text{ мин}$ и коэффициент нерегулярности $\varepsilon_{\text{р}} = 1,25$)

$$t_{\text{ож}} = 0,5 t_{\text{и}} \varepsilon_{\text{р}} = 0,5 \cdot 6 \cdot 1,25 = 3,75 \approx 4 \text{ мин};$$

в) общих накладных затрат времени в транспортных передвижениях

$$t_{\text{нак}} = 2t_{\text{пеш}} + t_{\text{ож}} = 2 \cdot 4 + 4 = 12 \text{ мин}; \quad (14.3)$$

г) затрат транспортного времени

$$t_{\text{тр}ij} = l_{ij}/v_c + k_{\text{пер}}(t_{\text{пер}} + t_{\text{ож}}), \quad (14.4)$$

где l_{ij} — путь корреспонденций между центрами транспортного тяготения (см. табл. 14.3); v_c — скорость сообщения транспортных средств (принимаем $v_c = 17$ км/ч); $k_{\text{пер}}$ — количество пересадок в поездках l_{ij} , соответствующее принятой на рис. 14.2 маршрутной системе (см. табл. 14.4); $t_{\text{пер}}$ — затраты времени на передвижение между остановками ГМПП при пересадках (в среднем принимаем $t_{\text{пер}} = 2$ мин). Например, для передвижения из транспортного района 2 в промышленную зону II затраты времени составляют

$$\begin{aligned} t_{\text{тр}2II} &= l_{2II}/v_c + k_{\text{пер}}(t_{\text{пер}} + t_{\text{ож}}) = \\ &= 5,8 \cdot 60/17 + 1(2 + 4) = 26 \text{ мин.} \end{aligned}$$

Общая трудность транспортных передвижений

$$t_{\text{от}ij} = t_{\text{наж}} + t_{\text{тр}ij}.$$

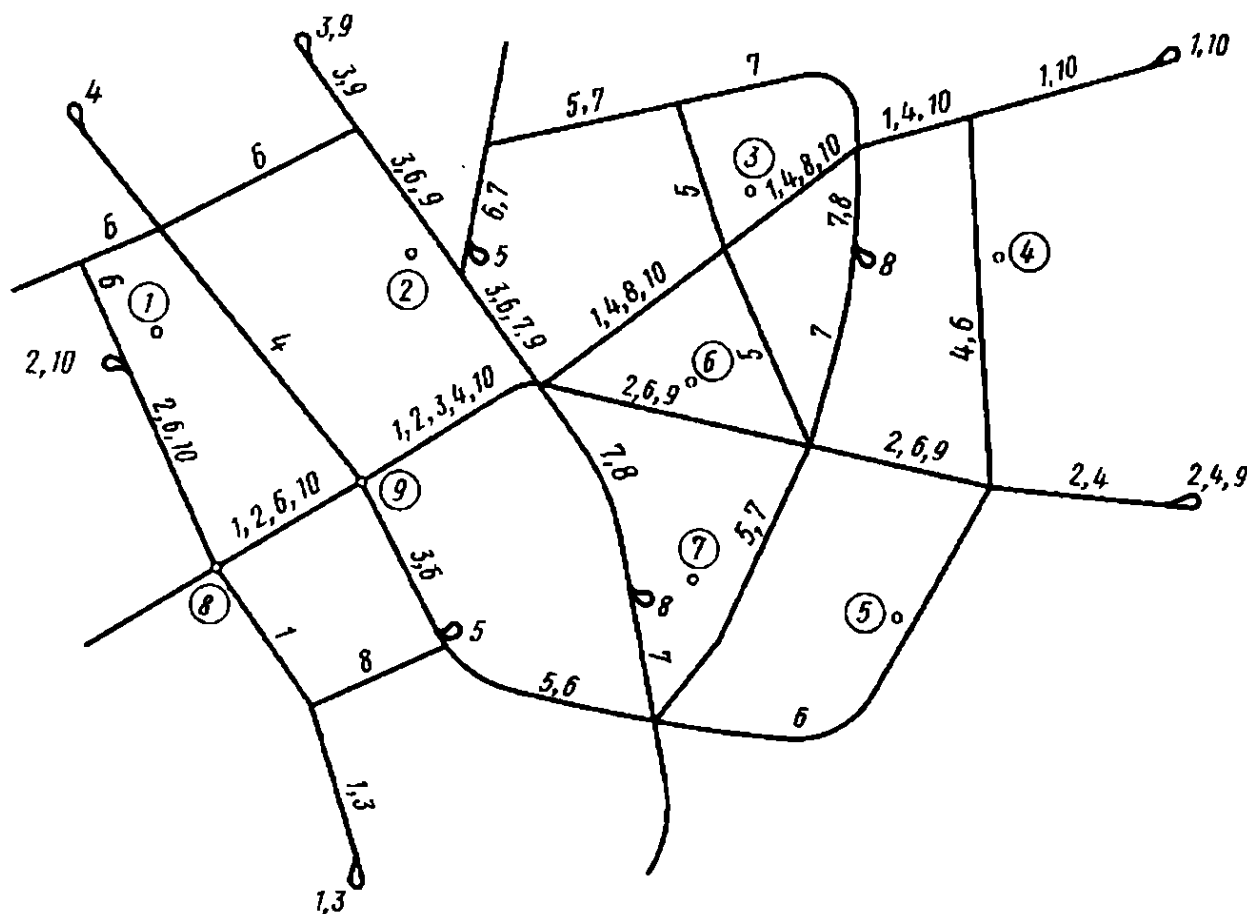


Рис. 14.2

Таблица 14.4

Пункты прибытия	Количество пересадок при транспортных передвижениях между центрами транспортного тяготения города для пунктов отправления (транспортных районов)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Промышленные зоны:									
I	0	0	0	1	1	0	0	1	0
II	0	1	0	0	1	0	1	0	0
III	0	0	1	0	0	0	1	0	0
IV	1	0	0	1	1	0	1	0	0
Стадион	0	0	1	1	0	0	0	0	0
ЦПКиО	0	1	0	1	0	0	0	0	0
КБГЦ	0	0	0	1	0	0	1	0	0
Транспортные районы:									
1	—	1	1	1	1	0	1	0	0
2	1	—	0	1	0	0	0	0	1
3	1	0	—	0	1	0	0	0	0
4	1	1	0	—	1	0	0	0	1
5	1	0	1	1	—	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	—	0	0	0
7	1	0	0	0	1	0	—	1	1
8	0	0	0	0	0	0	1	—	0
9	0	1	0	1	0	0	1	0	—

Например, для передвижений из транспортного района 2 в промышленную зону II:

$$t_{02II} = 12 + 26 = 38 \text{ мин.}$$

Трудность внутрирайонных передвижений будем считать равной в среднем 5 мин из расчета пешеходного передвижения на расстояние 300—350 м или транспортного передвижения до 1 км. Корреспонденции между промышленными зонами и общегородскими культурно-бытовыми центрами (стадион, ЦПКиО, КБГЦ) ввиду малости в расчете не учитываем.

Результаты расчетов трудности сообщений (мин) между центрами транспортного тяготения сводим в табл. 14.5.

По нормам СНиП II-60—75 затраты времени на передвижения от места проживания до места работы для 80—90% трудящихся (в один конец) не должны превышать 40 мин в крупных городах и 30 мин в остальных городах. Проверить запроектированную ТС и маршрутную систему по этому критерию пока еще нельзя, так как передвижения между транспортными районами не определены.

Расчет объема передвижений между транспортными районами. Будем считать, что трудовые передвижения населения из районов i в районы j пропорциональны трудовой емкости A_{0ij} районов прибытия j , функции

Таблица 14.5

Пункты прибытия	Трудность транспортных передвижений (мин) между центрами транспортного тяготения города для пунктов отправления (транспортных районов)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Промышленные зоны:									
I	26	15	23	38	41	23	25	31	32
II	44	38	21	18	34	26	31	34	38
III	39	28	29	18	16	20	27	29	39
IV	28	31	34	42	36	29	31	21	16
Стадион	26	22	30	40	25	21	21	17	20
ЦПКиО	18	37	33	43	27	30	21	23	26
КБГЦ	29	20	16	32	25	15	27	21	25
Транспортные районы:									
1	5	30	41	41	44	26	38	22	18
2	—	5	23	39	32	20	22	22	32
3	—	—	5	21	33	16	23	25	29
4	—	—	—	5	28	27	34	34	44
5	—	—	—	—	5	25	30	32	35
6	—	—	—	—	—	5	20	21	25
7	—	—	—	—	—	—	5	32	33
8	—	—	—	—	—	—	—	5	17
9	—	—	—	—	—	—	—	—	5

трудности сообщения d_{ij} между ними и трудовой емкости районов отправления i , оцениваемой весовыми коэффициентами k_{bi} [см. (11.39) — (11.41)]:

$$A_{o.t.ij} = A_{o.tj} [k_i k_{bti} d_{ij} / \sum_{k=1}^n k_k k_{btk} d_{ik}] = A_{o.tj} a_{tij}, \quad (14.5)$$

где $a_{tij} = k_{bti} d_{ij} / \sum_{k=1}^n k_{btk} d_{ik}$ — удельное количество передвижений между районами i и j .

Коэффициенты d_{ij} вероятности передвижений между районами i и j по трудности сообщения t_{ij} сведены в табл. 14.6.

Весовые коэффициенты трудовой емкости транспортных районов 1—9 будут: $k_{b1} = H_{r1} / H_r = 14,58/162 = 0,090$; $k_{b2} = H_{r2} / H_r = 19,71/162 = 0,122$. Аналогично $k_{b3} = 0,125$; $k_{b4} = k_{b5} = 0,065$; $k_{b6} = 0,155$; $k_{b7} = 0,150$; $k_{b8} = 0,128$ и $k_{b9} = 0,100$. Сумма этих коэффициентов

$$\sum_{k=1}^n k_{btk} = 1,000.$$

Далее подсчитываем и сводим в табл. 14.7 величины произведений (%) $d_{ij} k_{bi}$, а затем удельные трудовые передвижения к центрам трудового тяготения $a_{tij} \cdot 100\%$ (табл. 14.8).

Трудовые передвижения к основным градообразующим предприятиям — промышленным зонам I—IV и остальным центрам трудового

Таблица 14.6

Пункты прибытия	Коэффициенты вероятности передвижений (%) между центрами транспортного тяготения для пунктов отправления (транспортных районов)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Промышленные зоны:									
I	10,0	24,0	12,5	1,0	0,8	12,5	10,5	4,5	4,0
II	0,2	1,0	16,5	20,0	2,2	10,0	4,5	2,2	1,0
III	0,9	6,5	5,6	20,0	23,5	17,5	8,5	6,0	1,0
IV	6,5	4,5	2,2	0,8	1,5	6,0	4,5	16,5	23,5
Стадион	10,0	16,0	5,0	0,8	10,5	16,5	16,5	23,0	17,5
ЦПКиО	6,5	1,6	2,6	0,2	8,5	5,0	16,5	12,5	10,0
КБГЦ	5,6	17,5	23,5	4,0	10,5	24,0	8,5	16,5	10,5
Транспортные районы									
1	15,0	5,0	0,8	0,8	0,2	10,0	1,0	16,0	20,0
2	5,0	15,0	12,5	0,9	4,0	17,5	16,0	16,0	4,0
3	0,8	12,5	15,0	16,5	2,5	23,5	12,5	10,5	5,6
4	0,8	0,9	16,5	15,0	6,5	8,5	2,2	2,2	0,2
5	0,2	4,0	2,5	6,5	15,0	10,5	5,0	4,0	2,0
6	10,0	17,5	23,5	8,5	10,5	15,0	17,5	16,5	10,5
7	1,0	16,0	12,5	2,2	5,0	17,5	15,0	4,0	2,5
8	16,0	16,0	10,5	2,2	4,0	16,5	4,0	15,0	22,5
9	4,0	4,0	5,6	0,2	2,0	10,5	2,5	22,5	15,0

тяготения, которые приняты равномерно распределенными по жилым районам, — неравноценны. Первые более детерминированы, а вторые более подвижны. Исходя из этого и имея в виду необходимость балансировки трудовых корреспонденций, примем гипотезу, что трудовые корреспонденции из транспортных районов в промышленные зоны распределяются в точном соответствии с функцией тяготения, а трудовые корреспонденции между транспортными районами — в функции тяготения с корректировкой (балансировкой).

Общее количество трудовых корреспонденций к промышленным зонам I—IV:

$$A_{т.п.зI} = H_I p_{0.тI} = 25 \cdot 580 = 14\,500 \text{ тыс. передвижений/год;}$$

$$A_{т.п.зII} = H_{II} p_{0.тII} = 15 \cdot 580 = 8\,700 \text{ тыс. передвижений/год.}$$

Аналогично $A_{т.п.зIII} = 12 \cdot 580 = 6\,960$ тыс. передвижений/год; $A_{т.п.зIV} = 8 \cdot 580 = 4\,640$ тыс. передвижений/год.

Распределение корреспонденций $A_{т.п.з}$ между транспортными районами производим пропорционально коэффициентам $a_{тij}$, взятым из табл. 14.8. Например, количество трудовых передвижений между транспортным районом I и промышленной зоной II:

$$\begin{aligned} A_{тII I} &= A_{т.п.зII} (a_{тII I}/100) = 8\,700 \cdot 0,287/100 = \\ &= 25 \text{ тыс. передвижений/год.} \end{aligned}$$

Таблица 14.7

Пункты прибытия	Величины d_{ij} $k_{BT} i$											
	Пункты отправления (транспортные районы)										Σ	
	I	2	3	4	5	6	7	8	9			
Весовые коэффициенты $k_{BT} i$												
0,090	0,122	0,125	0,065	0,065	0,065	0,155	0,150	0,128	0,100	1,000		
Промышленные зоны: I II III IV	0,900 0,018 0,081 0,585	2,928 0,122 0,793 0,549	1,562 2,052 0,700 0,275	0,065 1,300 1,300 0,052	0,052 0,143 1,527 0,097	1,937 1,550 2,712 0,930	1,575 0,675 1,275 0,675	0,576 0,283 0,788 2,112	0,400 0,100 0,100 2,350	9,996 6,252 9,256 7,625		
	Станцион ЦПКЮ КБГЦ	0,900 0,585 0,504	1,952 0,196 2,135	0,625 0,325 2,937	0,052 0,013 0,260	0,682 0,552 0,682	2,557 0,775 3,720	2,475 2,475 1,275	2,944 1,600 2,112	1,750 1,000 1,050	13,937 7,520 14,675	
		Транспортные районы: 1 2 3 4 5 6 7 8 9	1,350 0,450 0,072 0,072 0,018 0,900 0,090 1,440 0,360	0,610 1,830 1,525 0,110 0,488 2,135 1,952 1,952 0,488	0,100 1,560 1,875 2,052 0,312 2,937 1,562 1,312 0,700	0,052 0,058 1,072 0,975 0,422 0,552 0,143 0,143 0,013	0,013 0,260 0,162 0,422 0,975 0,682 0,325 0,260 0,130	1,550 2,712 3,642 1,317 1,627 2,325 2,712 2,557 1,627	0,150 2,400 1,875 0,330 0,750 2,625 2,250 0,600 0,375	2,048 2,048 1,344 0,282 0,512 2,112 0,512 1,920 2,880	2,000 0,400 0,560 0,020 0,200 1,050 0,250 2,250 1,500	7,873 11,718 12,127 5,590 5,304 15,318 9,796 12,434 8,073

Таблица 14.8

Пункты прибытия	Удельные трудовые передвижения $a_{tij} \cdot 100\%$ для пунктов отправления (транспортных районов)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σa_{ti}	
Промышленные зоны:	I	9,004	29,294	15,627	0,650	0,520	19,379	15,757	5,762	4,007	100
	II	0,287	1,951	32,981	20,793	2,287	24,792	10,796	4,514	1,599	100
	III	0,875	8,567	7,562	14,044	16,497	29,299	13,774	8,297	1,085	100
	IV	7,672	7,200	3,605	0,681	1,275	12,196	8,852	27,699	30,819	100
Транспортные районы:	I	17,147	7,747	1,270	0,660	0,165	19,687	1,905	26,016	25,403	100
	2	3,840	15,616	13,312	0,494	2,218	23,143	20,481	17,477	3,419	100
	3	0,593	12,575	15,461	8,839	1,335	30,032	15,461	11,087	4,617	100
	4	1,288	1,967	36,892	17,441	7,549	23,559	5,903	5,044	0,357	100
	5	0,339	9,200	5,882	7,956	18,382	30,678	14,140	9,653	3,770	100
	6	5,875	13,937	19,173	3,603	4,452	15,180	17,138	13,788	6,854	100
	7	0,918	19,928	15,946	1,459	3,317	27,685	22,969	5,226	2,552	100
	8	11,581	15,698	10,551	1,150	2,091	20,566	4,825	15,442	18,096	100
	9	4,459	6,044	8,670	0,161	0,610	20,153	4,645	35,678	18,580	100

Результаты расчетов сводим в табл. 14.9.

Количество трудовых передвижений, распределяющихся по транспортным районам:

$$A_{т.тр} = A_{о.т} - A_{т.п.з} = 93\,960 - 34\,800 = 59\,160 \text{ тыс. передвижений/год,}$$

где $A_{о.т} = 93\,960$ тыс. передвижений/год (по табл. 14.1), $A_{т.п.з} = \sum_i A_{т.п.зi} = 34\,800$ тыс. передвижений/год (по табл. 14.9).

Распределения передвижений $A_{т.п.з}$ по транспортным районам даны в табл. 14.9.

Количество трудовых передвижений, распределяющихся по транспортным районам:

$$A_{т.трi} = A_{о.ти} - A_{т.п.зи}, \quad (14.6)$$

где $A_{о.ти}$ берем из табл. 14.1, а $A_{т.п.зи}$ — из табл. 14.9. Например, для транспортного района I имеем: $A_{т.трI} = A_{о.тI} - A_{т.п.зI} = 8456,4 - 1748,0 = 6708,4$ тыс. передвижений/год.

Результаты расчета сводим в строку $\sum_i A_{т.трi}$ табл. 14.9.

Таблица 14.9

Пункты прибытия	Трудовые передвижения $A_{т.п.з}$ (тыс. передвижений) для транспортных районов отправления									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\sum A_{т.п.зi}$
Промышленные зоны:										
I	1306	4248	2266	94	75	2810	2285	835	581	14 500
II	25	170	2869	1809	199	2157	939	393	139	8 700
III	61	596	526	977	1148	2039	960	577	76	6 960
IV	356	334	167	32	59	566	411	1285	1430	4 640
$\sum A_{т.п.зi}$	1748	5348	5828	2912	1481	7572	4595	3090	2226	34 800
$\sum A_{т.трi}$	6708,4	6083,8	5917	3224,4	4655,4	6962,8	9499,0	8939,2	7170	59 160

Распределение передвижений (отправлений) $A_{т.трi}$ между транспортными районами производим пропорционально коэффициентам a_{ij} , взятым из табл. 14.8, считая за районы отправления транспортные районы j . Например, трудовые передвижения из транспортного района 2 в транспортный район I составят: $A_{т.тр2,1} = A_{т.тр2} a_{2,1} = 6083,8 \cdot 3,84/100 = 233,6$ тыс. передвижений/год.

Результаты расчета сводим в табл. 14.10. Однако полученная при этом матрица корреспонденций (табл. 14.10) сходится по столбцам (отправлениям), но не сходится по строкам (прибытиям).

Трудовые емкости транспортных районов по прибытию (в предположении равномерного распределения центров трудового тяготения по

Таблица 14.10

Транспорт- ные районы прибытия	Трудовые передвижения $A_{трj}$ (тыс. передвижек) для транспортных районов отправления (нулевая итерация)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\Sigma A_{трj}$ i
1	1150,3	233,6	35,1	41,5	15,8	409,1	87,2	1035,2	320,0	3327,8
2	519,7	950,0	744,1	63,4	428,3	970,4	1893,0	1403,3	433,3	7435,5
3	85,2	809,9	914,8	1189,7	273,8	1335,0	1514,7	943,2	621,6	7687,9
4	44,3	30,0	523,0	562,4	370,4	251,0	138,6	102,8	11,5	2034,0
5	11,1	135,0	79,0	243,4	855,7	310,0	315,1	186,9	115,4	2251,6
6	1320,7	1408,0	1777,0	759,6	1428,2	1057,0	2630,0	1838,4	1445,0	13663,9
7	127,8	1246,0	914,8	190,3	658,3	1193,1	2182,0	431,3	333,0	7276,6
8	1745,2	1063,3	656,0	162,6	449,4	960,0	496,2	1380,5	2558,0	9471,2
9	1704,1	208,0	273,2	11,5	175,5	477,2	242,2	1617,6	1332,2	6041,5
$A_{тр\text{ от}}$	6708,4	6083,8	5917	3224,4	4655,4	6962,8	9499	8939,2	7170	59160
										—

 $A_{тр\text{ от}}$

транспортным районам в функции их населенности) составляют (столбец $A_{гр.иi}$ в табл. 14.10):

$$A_{гр.и1} = A_{т.тр} k_{вт1} = 59\,160 \cdot 0,09 = 5324,4 \text{ тыс. передвижений/год};$$

$$A_{гр.и2} = A_{т.тр} k_{вт2} = 59\,160 \cdot 0,122 = 7217,5 \text{ тыс. передвижений/год}.$$

Аналогично $A_{гр.и3} = 7395$ тыс. передвижений/год и т. д.

Для балансировки полученных прибытий $\sum_i A_{грi}$ с трудовой емкостью $A_{гр.иj}$ районов прибытия находим нормирующие множители

$$k_{j(1)} = A_{гр.иj} / \sum_i A_{грi}.$$

Так для транспортного района 1 получим $k_{1(1)} = 5324,4/3327,8 = 1,600$.

Результаты расчета нормирующих множителей сведены в табл. 14.10. Они показывают, что расхождение величин $\sum A_{грi}$ и $A_{гр.иj}$ в табл. 14.10 доходит до 89%.

В результате выравнивания матрицы табл. 14.10 по прибытиям в транспортные районы j (строкам) получаем табл. 14.11. Здесь выравнены прибытия из транспортных районов i в транспортные районы j , но получилось расхождение по отправлениям (столбцам). Находим нормирующие множители

$$k_{i(1)} = A_{гр.oi} / \sum_j A_{грij}.$$

Выравнивая матрицу табл. 14.11 по столбцам (отправлениям), получаем матрицу табл. 14.12. В ней погрешность распределения передвижений по отправлениям равна нулю, а по прибытиям не превышает 5%, что можно считать допустимым. Поэтому матрицу табл. 14.12 считаем окончательной.

Пользуясь данными табл. 14.5, 14.9 и 14.12, находим удельный вес трудовых передвижений, совершаемых с затратами времени, превышающими 40 и 30 мин (по отправлениям):

$$\begin{aligned} \gamma_{40} &= (A_{5,1} + A_{1,11} + A_{4,1V} + A_{3,1} + A_{4,1} + A_{3,1} + A_{9,4}) / A_{о.т} = \\ &= (75 + 25 + 32 + 56,5 + 59 + 22,9 + 24) / 93\,960 = 0,003 (0,3\%). \end{aligned}$$

Аналогично,

$$\gamma_{30} = 0,083 (8,3\%).$$

Полученное число передвижений с затратами времени, превышающими 40 и 30 мин, укладываются в нормы СНиП II-60—75, что указывает на приемлемость принятой транспортной системы.

Распределение культурно-бытовых передвижений к общегородским культурно-бытовым центрам (стадиону, ЦПКиО, КБГЦ) будем считать пропорциональным весовым коэффициентам соответствующих районов отправления независимо от трудности сообщения, а в транспортные районы — пропорциональным коэффициентам $a_{тj}$, как и для трудовых передвижений самодеятельного населения. Количество передвижений в год к стадиону и обратно $A_{ст}$ принимаем из расчета работы его в течение шести месяцев в году (с мая по октябрь) при числе игр в неделю,

Таблица 14.11

Транспортные районы прибытия	Трудовые передатки $A_{тр,i}$ (тыс. передатки), распределяющиеся между транспортными районами отправления (первая итерация, выраженные по строкам)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\sum A_{тр,i}$
1	1840,5	373,8	56,2	66,4	25,3	654,6	139,5	1656,3	512,0	5324,4
2	504,1	921,5	721,8	61,5	415,4	941,3	1836,2	1361,2	420,3	7217,5
3	81,8	777,5	878,2	1142,1	262,8	1281,6	1454,1	905,5	596,7	7395,0
4	83,7	56,7	988,5	1062,9	700,0	474,4	261,9	194,3	21,7	3845,4
5	18,9	229,5	134,3	413,8	1454,7	527,0	535,7	317,7	196,2	3845,4
6	884,9	943,4	1190,6	508,9	956,9	708,2	1762,1	1231,7	968,2	9169,8
7	155,9	1520,1	1116,0	232,2	803,1	1455,6	2662,0	526,2	406,3	8874,0
8	1396,2	850,6	524,8	130,1	359,5	768,0	397,0	1104,4	2046,4	7572,5
9	1670,0	203,8	267,7	11,3	172,0	468,0	237,3	1585,2	1305,5	5916,0
$\sum A_{тр,i}$	6636,0	5876,9	5878,1	3629,2	5149,7	7278,7	9285,8	8882,5	6473,3	5916,0
$A_{тр,0,i}$	6708,4	6083,8	5917,0	3224,4	4655,4	6962,8	9499,0	8939,2	7170,0	59160,0
$K_{i(1)}$	1,010	1,035	1,006	0,888	0,904	0,956	1,022	1,006	1,107	—

Транспортные районы прибытия	Трудовые передвижения $A_{тр i}$ (тыс. передвижений), распределяющиеся между транспортными районами (первая итерация, выравнивание по столбцам)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\sum_i A_{тр i}$	$K_{i(1)}$
1	1858,9	386,9	56,5	59,0	22,9	625,8	143,0	1666,2	566,8	5386,0	0,998
2	509,1	958,7	726,1	54,7	375,5	900,0	1877,0	1369,4	465,3	7235,8	0,997
3	82,6	804,7	883,5	1014,2	237,6	1225,2	1486,1	910,9	660,5	7305,3	1,012
4	84,5	58,7	994,4	943,9	632,8	453,5	268,0	195,5	24,0	3655,3	1,052
5	19,1	237,5	135,1	367,5	1315,0	503,8	547,5	319,6	217,2	3662,3	1,049
6	893,7	976,4	1197,7	451,9	865,0	677,0	1801,0	1239,1	1071,8	9173,6	0,999
7	157,5	1573,3	1122,7	206,2	726,0	1392,0	2721,0	529,4	449,8	8877,9	0,999
8	1410,2	880,4	527,9	115,5	325,0	734,2	405,7	1111,0	2265,4	7775,3	0,973
9	1686,7	210,9	269,3	10,0	155,5	447,4	242,5	1594,7	1445,2	6217,7	0,951
$\sum_i A_{тр i}$	6708,4	6083,8	5917,0	3224,4	4655,4	6962,8	9499,0	8939,2	7170,0	59160,0	—
$A_{тр.о i}$	6708,4	6083,8	5917,0	3224,4	4655,4	6962,8	9499,0	8939,2	7170,0	59160,0	—

равном темпе, и средней заполняемости 60%:

$A_{ст} = 26 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 0,6 B_{ст} = 26 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 0,6 \cdot 10 = 936$ тыс. передвижений/год.

где 26 — количество недель в игровом сезоне; 3 — число игр в неделю; 2 — число передвижений к стадиону и обратно одного человека за одно посещение; $B_{ст} = 10$ тыс. — расчетная вместимость стадиона; 0,6 — средний коэффициент заполнения стадиона посетителями.

Количество передвижений в год к ЦПКиО $A_{пк}$ принимаем из расчета функционирования его в течение всего года с расчетной посещаемостью 30% (максимальной) в весенне-летний и 10% в осенне-зимний периоды:

$$A_{пк} = 180 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot B_{пк} + 180 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot B_{пк} = \\ = 180 \cdot 2 \cdot 0,3 \cdot 15 + 180 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 15 = 2165 \text{ тыс. передвижений/год,}$$

где 180 — количество дней работы ЦПКиО в осенне-зимний и весенне-летний периоды; 2 — количество передвижений одного человека за одно посещение; 0,3 и 0,1 — коэффициенты использования расчетной вместимости в соответствующие периоды; $B_{пк} = 15$ тыс. человек — расчетная вместимость парка.

Годовое количество передвижений к общегородскому культурно-бытовому центру КБГЦ и обратно определяем из расчета одного посещения в месяц на каждого жителя:

$$A_{гц} = 12 \cdot 2 \cdot H = 12 \cdot 2 \cdot 300 = 7200 \text{ тыс. передвижений/год.}$$

Общее количество передвижений к общегородским культурно-бытовым центрам:

$$A_{кб.гц} = A_{ст} + A_{пк} + A_{гц} = 936 + 2165 + 7200 = \\ = 10\,300 \text{ тыс. передвижений/год.}$$

Распределение культурно-бытовых передвижений $A_{кб.гц}$ между транспортными районами производим в соответствии с принятой гипотезой

$$A_{кб.гц i} = A_{кб.гц} k_{вгц i}, \quad (14.7)$$

где $A_{кб.гц i}$ — количество культурно-бытовых передвижений к общегородским центрам, приходящихся на i -й транспортный район. Например, для транспортного района 1

$$A_{кб.гц 1} = A_{кб.гц} k_{вгц 1} = 10\,300 \cdot 0,09 = 927 \text{ тыс. передвижений/год.}$$

Количество передвижений к культурно-бытовым центрам, распределяющихся внутри транспортных районов и между ними:

$$A_{кб.тр} = A_{о.кб} - A_{кб.гц} = 100\,140 - 10\,300 = \\ = 89\,840 \text{ тыс. передвижений/год,}$$

где $A_{о.кб} = 100\,140$ тыс. передвижений/год определяем по табл. 14.1.

Распределяем эти передвижения между транспортными районами

пропорционально коэффициентам $a_{тj}$ аналогично распределению трудовых передвижений (без балансировки). Результаты расчета (с округлением до целого) приведены в табл. 14.13.

Выделение транспортных передвижений. Для выделения транспортных передвижений используем коэффициенты пользования транспортом $\varphi_{тр}$ и $\varphi_{мпт}$ (см. рис. 10.4, б и рис. 10.5, а).

Расстояния передвижений, требующиеся для вычислений $\varphi_{тр}$, выбираем из табл. 14.3. Коэффициент $\varphi_{мпт}$, соответствующий заданному уровню автомобилизации (25 автомобилей на 1000 жителей), равен 0,8.

Передвижения с использованием МПТ выделяем из трудовых передвижений (табл. 14.9 и 14.12) и культурно-бытовых передвижений (из табл. 14.13) умножением их на произведение коэффициентов $\varphi_{тр} \times \varphi_{мпт}$. В результате находим количество сетевых поездок на МПТ. Данные о сетевых трудовых поездках приведены в табл. 14.14, а о сетевых культурно-бытовых поездках в табл. 14.15.

Общее количество маршрутных поездок A_m находим, умножая количество сетевых поездок A_c на соответствующие им коэффициенты пересадочности с учетом количества пересадок $k_{пер}$ (см. табл. 14.4):

$$A_m = A_c(k_{пер} + 1). \quad (14.8)$$

Результаты расчетов трудовых и культурно-бытовых маршрутных поездок сведены в табл. 14.16 и 14.17.

По результатам этих расчетов определяем средние коэффициенты пересадочности по городу в трудовых и культурно-бытовых транспортных передвижениях:

$$k_{п.т} = A_{т.м}/A_{т.с} = 77\,637/68\,614 = 1,13 \quad \text{и} \quad k_{п.кб} = A_{кб.м}/A_{кб.с} = \\ = 72\,976/65\,555 = 1,11$$

Средний коэффициент пересадочности транспортных передвижений населения

$$k_{п.ср} = (A_{т.м} + A_{кб.м})/(A_{т.с} + A_{кб.с}) = \\ = (77\,637 + 72\,976)/(68\,614 + 65\,555) = 150\,613/134\,169 = 1,12.$$

Суммируя итоговые количества трудовых и культурно-бытовых сетевых поездок по табл. 14.14 и 14.15, определяем транспортную подвижность населения города в сетевых поездках: $p_{мпт.с} = (A_{т.с} + A_{кб.с})/H = (68\,614 + 65\,555)/300 = 447$ поездок/год на одного жителя.

Аналогично, используя данные табл. 14.16 и 14.17, определяем транспортную подвижность населения в маршрутных поездках: $p_{мпт.м} = (A_{т.м} + A_{кб.м})/H = (77\,637 + 72\,976)/300 = 502$ поездки/год на одного жителя.

Определение объема транспортной работы. Объем транспортной работы (пассажирооборот) определяем как произведение количества сетевых поездок на величину их дальности перемножением данных табл. 14.16 и 14.17 на величины расстояний между центрами транспортного тяготения, взятые из табл. 14.3. Дальность внутрирайонных передвижений принимаем равной 1 км.

Таблица 14.13

Пункты прибытия	Культурно-бытовые переданжения (тыс. переданжений) населения для пункта отправления (транспортных районов)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Стадион	84,0	114,0	117,0	61,0	61,0	145,0	140,0	120,0	94,0	936,0
ЦПКНО	196,0	264,0	271,0	141,0	141,0	336,0	325,0	277,0	216,0	2165,0
КБГЦ	648,0	878,0	900,0	458,0	468,0	1116,0	1080,0	922,0	720,0	7200,0
Σ Акб. гц i	927,0	1256,0	1288,0	670,0	670,0	1597,0	1545,0	1319,0	1030,0	10300,0
Σ Акб. тр. i	8085,6	10927,7	11229,5	5872,6	5872,6	13891,2	13476,0	11498,8	8984,0	89840,0
Транспортные районы:										
1	1386,4	419,6	66,6	75,6	19,9	816,1	123,7	1331,7	400,6	4640,2
2	626,4	1706,5	1412,1	115,5	540,3	1936,0	2685,6	1805,1	543,0	10370,4
3	102,7	1454,7	1736,2	2166,5	345,4	2663,4	2148,9	1213,2	778,9	12609,9
4	53,4	54,0	992,6	1024,2	457,2	500,5	196,6	132,2	14,5	3435,2
5	13,3	242,4	149,9	433,3	1079,5	618,4	447,0	240,4	54,8	3279,0
6	1591,8	2529,0	3372,4	1383,5	1801,6	2108,7	3730,8	2364,8	1810,5	20693,1
7	154,0	2236,1	1736,2	346,7	830,4	2380,7	3095,3	554,8	417,3	11753,5
8	2103,5	1909,8	1245,0	296,2	566,9	1915,3	704,3	1775,6	3205,3	13721,9
9	2054,0	373,6	518,5	21,0	221,4	952,1	343,9	2080,8	1669,2	8234,5

Таблица 14.14

Пункты прибытия	Трудовые передвижения (тыс. передвижений) населения с использованием МПТ (сетевых поездок) для пунктов отправления (транспортных районов)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ	
Промышленные зоны:	I	1045,0	918,0	1813,0	75,0	60,0	2248,0	1828,0	668,0	465,0	9120,0
	II	20,0	135,0	2295,0	1216,0	159,0	1726,0	751,0	314,0	111,0	6728,0
	III	49,0	477,0	421,0	602,0	367,0	1631,0	768,0	462,0	61,0	4838,0
	IV	285,0	267,0	134,0	26,0	47,0	453,0	329,0	1028,0	572,0	3141,0
Транспортные районы:	1	1487,0	310,0	45,0	47,0	18,0	501,0	114,0	1333,0	317,0	4172,0
	2	407,0	767,0	581,0	44,0	300,0	362,0	1502,0	1096,0	372,0	5431,0
	3	66,0	644,0	707,0	811,0	190,0	392,0	1189,0	729,0	528,0	5256,0
	4	68,0	47,0	796,0	756,0	506,0	720,0	214,0	156,0	19,0	3281,0
	5	15,0	190,0	106,0	294,0	1052,0	980,0	438,0	256,0	174,0	3507,0
	6	715,0	781,0	383,0	352,0	692,0	542,0	1441,0	991,0	857,0	6764,0
	7	126,0	1259,0	898,0	165,0	581,0	1114,0	2177,0	424,0	360,0	7104,0
	8	1128,0	704,0	422,0	92,0	260,0	587,0	325,0	889,0	997,0	5401,0
	9	945,0	169,0	215,0	8,0	124,0	358,0	194,0	702,0	1156,0	3871,0
Σ	6356,0	6669,0	8818,0	4497,0	4356,0	11614,0	11270,0	9048,0	5989,0	68614,0	

Пункты прибытия	Культурно-бытовые передвижения (тыс. передвижений) населения с использованием МПТ (сетевых поездов) для пунктов отправления (транспортных районов)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Стадион	67,0	84,0	94,0	49,0	49,0	93,0	94,0	32,0	54,0	616,0
ЦПКЮ	156,0	211,0	217,0	113,0	113,0	269,0	218,0	222,0	173,0	1692,0
КБГЦ	518,0	471,0	202,0	374,0	374,0	152,0	691,0	553,0	576,0	3911,0
Транспортные районы:										
1	1109,0	336,0	53,0	60,0	16,0	653,0	99,0	1001,0	131,0	3458,0
2	501,0	1365,0	1130,0	92,0	432,0	1038,0	1987,0	1256,0	434,0	8235,0
3	82,0	1164,0	1389,0	1439,0	276,0	490,0	1719,0	971,0	623,0	8153,0
4	43,0	43,0	659,0	819,0	329,0	400,0	157,0	106,0	12,0	2568,0
5	11,0	194,0	120,0	305,0	864,0	495,0	358,0	192,0	44,0	2583,0
6	1273,0	1356,0	621,0	1107,0	1441,0	1687,0	2119,0	1419,0	1448,0	12471,0
7	123,0	1730,0	1389,0	277,0	664,0	1352,0	2476,0	444,0	334,0	8789,0
8	1582,0	1329,0	996,0	237,0	454,0	1149,0	563,0	1420,0	846,0	8576,0
9	674,0	299,0	425,0	17,0	177,0	762,0	275,0	549,0	1335,0	4503,0
Σ	6139,0	8582,0	7285,0	4889,0	5189,0	8540,0	10756,0	8186,0	6010,0	65555,0

Культурно-бытовые передвижения (тыс. передвижек) населения с использованием МПТ (маршрутных поездок) для пунктов отправления (транспортных районов)											
Пункты прибытия		1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Стадион ЩПКиО КБГЦ		67,60	84,0	188,0	98,0	49,0	93,0	94,0	32,0	54,0	759,0
		156,0	422,0	217,0	226,0	113,0	269,0	218,0	222,0	173,0	2016,0
		518,0	471,0	202,0	748,0	374,0	152,0	1382,0	553,0	576,0	4976,0
Транспортные районы:	1	1109,0	672,0	106,0	120,0	32,0	653,0	198,0	1001,0	131,0	4022,0
	2	1002,0	1365,0	1130,0	184,0	432,0	1038,0	1987,0	1256,0	868,0	9262,0
	3	164,0	1164,0	1389,0	1439,0	552,0	490,0	1719,0	971,0	623,0	8511,0
	4	86,0	86,0	659,0	819,0	658,0	400,0	157,0	106,0	24,0	2995,0
	5	22,0	194,0	240,0	610,0	864,0	495,0	716,0	192,0	44,0	3377,0
	6	1273,0	1356,0	621,0	1107,0	1441,0	1687,0	2119,0	1419,0	1448,0	12471,0
	7	246,0	1730,0	1399,0	277,0	1328,0	1352,0	2476,0	888,0	668,0	10354,0
	8	1562,0	1329,0	996,0	237,0	454,0	1149,0	1126,0	1420,0	846,0	9139,0
	9	674,0	598,0	415,0	34,0	177,0	762,0	550,0	549,0	1335,0	5094,0
Σ	5899,0	9471,0	7552,0	5899,0	6474,0	8540,0	12742,0	8609,0	6790,0	72976,0	

Таблица 14.18

Пункты прибытия	Пассажирооборот МПТ по трудовым пассажиропоездам (тыс. пасс.-км/год) для пунктов отправления (транспортных районов)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ	
Промышленные зоны:	I	4284,5	826,2	5711,0	435,0	399,0	6968,8	6855,0	2404,8	2627,3	30511,6
	II	180,8	788,8	5967,0	2128,0	715,5	6610,6	3942,8	1934,2	831,4	23099,1
	III	378,8	2218,1	1368,3	993,3	403,7	3996,0	2035,2	2240,7	469,7	14103,8
	IV	798,0	1409,8	822,8	210,6	251,5	2224,2	1250,2	2487,8	715,0	10168,9
Транспортные районы:	I	1487,0	1054,0	289,8	360,0	134,1	1953,9	640,7	3839,0	491,4	10249,9
	2	1383,8	767,0	1830,2	262,2	1725,0	796,4	4280,7	2959,2	1499,2	15503,7
	3	425,0	2028,6	707,0	2108,6	826,5	423,4	3685,9	2595,2	2581,9	15382,1
	4	520,9	280,1	2069,6	755,0	1391,5	2952,0	1343,9	961,0	142,3	10416,3
	5	111,6	1092,5	469,8	808,5	1052,0	3479,0	1546,1	1451,5	1148,4	11159,4
	6	2788,5	1718,2	413,6	1484,2	2456,6	542,0	3314,3	2378,4	3136,6	18232,4
	7	708,6	3588,2	2783,3	1036,2	2050,9	2562,2	2177,0	1746,9	1576,8	18230,1
	8	3248,6	1900,1	1502,3	566,7	1474,2	1408,8	1339,0	889,0	1326,0	13654,7
	9	1464,8	681,1	1051,4	59,9	818,4	1310,3	849,7	933,6	1156,0	8325,2
Σ	17780,4	18352,7	24986,6	11208,2	13698,9	35227,6	33260,5	26821,3	17702,0	199038,2	

Таблица 14.19

Пункты прибытия	Пассажирооборот МПТ по культурно-бытовым пассажиропоездам (тыс. пасс-км/год) для пунктов отправления (транспортных районов)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
Станцион	258,0	239,4	334,6	307,7	173,0	237,2	247,2	43,8	124,2	1965,1
ЦПКиО	712,9	1156,3	1269,5	796,7	485,9	1393,4	573,3	681,5	692,0	7761,5
КБГЦ	2735,0	1036,2	248,5	1533,4	1327,7	144,4	1762,1	1327,2	2148,5	12263,0
Транспортные районы:										
1	1109,0	1142,4	341,3	459,6	119,2	2546,7	556,4	2882,9	203,1	9360,6
2	1703,4	1365,0	3559,5	548,3	2484,0	2283,6	5663,0	3391,2	1749,0	22747,0
3	528,1	3666,6	1389,0	3741,4	1200,6	529,2	5328,9	3456,8	3046,5	22887,1
4	329,4	256,3	1713,4	819,0	904,8	1640,0	986,0	653,0	89,9	7391,8
5	82,0	1115,5	522,0	838,8	864,0	1757,3	1263,7	1088,6	290,4	7822,3
6	4964,7	2983,2	670,7	4538,7	5115,5	1687,0	4873,7	3405,6	5299,7	33538,8
7	691,3	4930,6	4305,9	1740,0	2343,9	3109,6	2476,0	1822,3	1162,3	22588,8
8	4556,2	3588,3	3545,8	1459,9	2574,2	2757,6	2319,6	1420,0	1149,1	23370,7
9	1044,7	1205,0	2029,4	127,3	1168,9	2788,9	1204,5	730,2	1335,0	11633,2
Σ	18714,7	22684,7	19929,6	16910,8	18761,0	20874,9	27254,4	20910,1	17289,7	183329,9

Номер участков	Пассажиропотоки на участках транспортной сети (см. табл. 14.2, 14.14 и 14.15), тыс. пасс-им/(км·год)	Всего
1	2	3
1	1045; 465	1 510
2	465; 20; 49; 285; 45; 1333; 317; 66; 1128; 945; 67; 518; 53; 1001; 131; 82; 1582; 657	8 761
3	20; 111; 49; 267; 134; 453; 45; 1333; 372; 66; 528; 19; 857; 360; 1128; 997; 169; 215; 8; 358; 194; 702; 518; 576; 53; 1001; 434; 82; 623; 12; 1448; 334; 1582; 846; 299; 415; 17; 762; 275; 549	18 141
4	668; 20; 314; 111; 49; 452; 267; 134; 453; 45; 47; 18; 601; 1096; 372; 68; 729; 628; 68; 156; 19; 15; 715; 991; 857; 360; 704; 422; 92; 587; 169; 215; 8; 358; 194; 518; 553; 576; 53; 60; 16; 653; 1268; 434; 82; 971; 623; 43; 106; 12; 11; 1273; 1419; 1448; 334; 1329; 996; 237; 1149; 299; 415; 17; 762; 275	27 730
5	60; 2248; 49; 477; 462; 18; 501; 300; 362; 15; 190; 715; 781; 991; 587; 93; 269; 518; 471; 152; 691; 553; 576; 16; 653; 432; 1038; 11; 194; 1273; 1356; 1419; 1149	18 620
6	60; 49; 477; 1631; 462; 18; 300; 720; 15; 190; 980; 362; 692; 1441; 1114; 374; 374; 16; 432; 400; 11; 194; 495; 1107; 1441; 2119; 1362	16 826
7	60; 49; 477; 421; 1531; 768; 462; 18; 300; 190; 720; 15; 190; 108; 980; 362; 692; 374; 374; 16; 432; 276; 400; 11; 194; 120; 495; 1107; 1441	12 683
8	60; 159; 367; 61; 26; 18; 300; 190; 506; 214; 15; 190; 108; 294; 980; 692; 165; 49; 113; 374; 16; 432; 276; 329; 157; 11; 194; 120; 305; 495; 1441; 277	8 934
9	61; 26; 47; 214; 438; 256; 174; 165; 681; 260; 124; 49; 49; 113; 113; 157; 358; 192; 44; 277; 664; 454; 177	4 993
10	214; 438; 165; 681; 49; 49; 94; 211; 269; 218; 157; 358; 277; 664	3 744
11	1828; 1502; 1259; 360; 194; 84; 94; 93; 211; 269; 691; 1987; 1730; 334; 275	10 911
12	60; 2248; 1828; 668; 477; 267; 44; 300; 362; 1502; 1096; 372; 47; 190; 781; 1259; 704; 169; 84; 211; 471; 92; 432; 1038; 1987; 1256; 434; 194; 1356; 43; 1730; 1329; 299;	23 330
13	1045; 465; 310; 407; 336; 501;	3 064
14	1045; 465	1 510
15	310; 407; 336; 601	1 654
16	47; 18; 601; 114; 68; 15; 715; 126; 156; 60; 16; 653; 99; 43; 11; 1273; 123	4 038
17	1028; 114; 256; 128; 424; 260; 325; 32; 156; 222; 99; 192; 123; 444; 454; 563;	4 818
18	61; 26; 47; 329; 114; 256; 174; 126; 424; 260; 325; 124; 94; 156; 211; 217; 113; 113; 269; 218; 222; 173; 99; 192; 44; 123; 444; 454; 563; 177	6 148
19	329; 114; 126; 424; 325; 217; 99; 123; 444; 563	2 764
20	751; 768; 1189; 1441; 898; 1114; 217; 1719; 1389; 2119; 1352	12 957
21	421; 190; 1189; 108; 898; 217; 276; 1719; 120; 1389	6 527
22	421; 190; 1189; 108; 898; 217; 276; 1719; 120; 1389	6 527

Продолжение табл. 14.20

Номер участков	Пассажиропотоки на участках транспортной сети (см. табл. 14.2, 14.14 и 14.15). тыс. пасс-км/(км·год)	Всего
1	2	3
23	20; 1726; 314; 111; 134; 45; 47; 44; 66; 729; 528; 68; 47; 156; 19; 422; 92; 215; 8; 202; 53; 60; 92; 82; 971; 623; 43; 43; 106; 12; 996; 237; 415; 17	8 743
24	20; 2295; 1726; 314; 111; 47; 44; 811; 68; 47; 796; 156; 19; 92; 8; 60; 92; 1439; 43; 659; 106; 12; 237; 17; 43	9 262
25	75; 20; 136; 2295; 1216; 159; 1726; 751; 314; 111; 47; 44; 811; 68; 47; 796; 156; 19; 92; 8; 60; 92; 1439; 43; 43; 659; 106; 12; 237; 17	11 599
26	159; 602; 26; 506; 720; 214; 294; 362; 165; 49; 113; 374; 329; 400; 157; 305; 1107; 277	6 159
27	751	751
28	751	751
29	75; 136	211
30	1813; 561; 644; 1130; 1164	5 332
31	421; 190; 392; 1189; 108; 383; 898; 94; 217; 276; 490; 1719; 120; 621; 1389	8 507
32	20; 1726; 314; 111; 134; 45; 47; 44; 66; 392; 729; 528; 68; 47; 156; 19; 383; 422; 92; 215; 8; 94; 202; 53; 60; 92; 82; 490; 971; 623; 43; 106; 12; 621; 996; 237; 415; 17	10 723
33	20; 314; 111; 134; 453; 45; 47; 44; 56; 729; 528; 68; 47; 156; 19; 857; 422; 92; 215; 8; 358; 94; 53; 60; 92; 82; 971; 623; 43; 43; 106; 12; 1448; 996; 237; 17; 762	10 787
34	1813; 75; 136; 681; 644; 1130; 1164	5 543
35	918; 1913; 75; 60; 2248; 1828; 668; 136; 581; 644; 1130; 1164	11 265
36	61; 285; 267; 134; 453; 572; 174; 124; 67; 54; 173; 44; 177	2 585
37	61; 26; 47; 329; 1028; 174; 124; 67; 54; 173; 44; 177	2 304

Результаты расчетов сводим в табл. 14.18 и 14.19.

Определяем среднюю длину трудовых и культурно-бытовых сетевых поездок:

$$L_{\text{ср.т.с}} = Q_{\text{т}}/A_{\text{т.с}} = 199038,2/68\,614 = 2,90 \text{ км};$$

$$L_{\text{ср.кб.с}} = Q_{\text{кб}}/A_{\text{кб.с}} = 183329,9/65\,555 = 2,79 \text{ км}.$$

Средняя длина сетевых поездок по всем целям:

$$L_{\text{ср.с}} = (Q_{\text{т}} + Q_{\text{кб}})/(A_{\text{т.с}} + A_{\text{кб.с}}) = (199038,2 + 183329,9)/(68\,614 + 65\,555) = 382368,1/134\,169 = 2,84 \text{ км}.$$

Аналогично средняя длина трудовых и культурно-бытовых маршрутных поездок

$$L_{\text{ср.т.м}} = Q_{\text{т}}/A_{\text{т.м}} = 199038,2/77\,637 = 2,56 \text{ км};$$

$$L_{\text{ср.кб.м}} = O_{\text{кб}}/A_{\text{кб.м}} = 183329,9/72\,976 = 2,51 \text{ км.}$$

Средняя длина маршрутных поездок по всем целям:

$$L_{\text{ср.м}} = (Q_{\text{т}} + Q_{\text{кб}})/(A_{\text{т.м}} + A_{\text{кб.м}}) = (199038,2 + 183329,9)/(77\,637 + 72\,976) = 382368,1/150\,613 = 2,53 \text{ км.}$$

Построение картограмм пассажиропотоков. Пассажиропотоки между транспортными районами и центрами транспортного тяготения (см. табл. 14.14 и 14.15) распределяем по участкам ТС на путях корреспонденций (см. табл. 14.2). Полученные результаты заносим в табл. 14.20. Например, в промышленную зону I пассажиропоток 1045 тыс. пассажиров из транспортного района I направляется в соответствии с данными табл. 14.2 по участкам 1, 14, 13. Вписываем эти данные в табл. 14.20 в строчки участков 1, 14, 13. Аналогично с занесением в табл. 14.20 распределяем пассажиропотоки по участкам ТС из других районов. Суммируя на участках величины трудовых и культурно-бытовых пассажиропотоков всех районов, получаем величину суммарного годового пассажиропотока. Эту величину делим на две равные части (на два направления движения) и откладываем на длине соответствующего участка в виде прямоугольников (рис. 14.3).

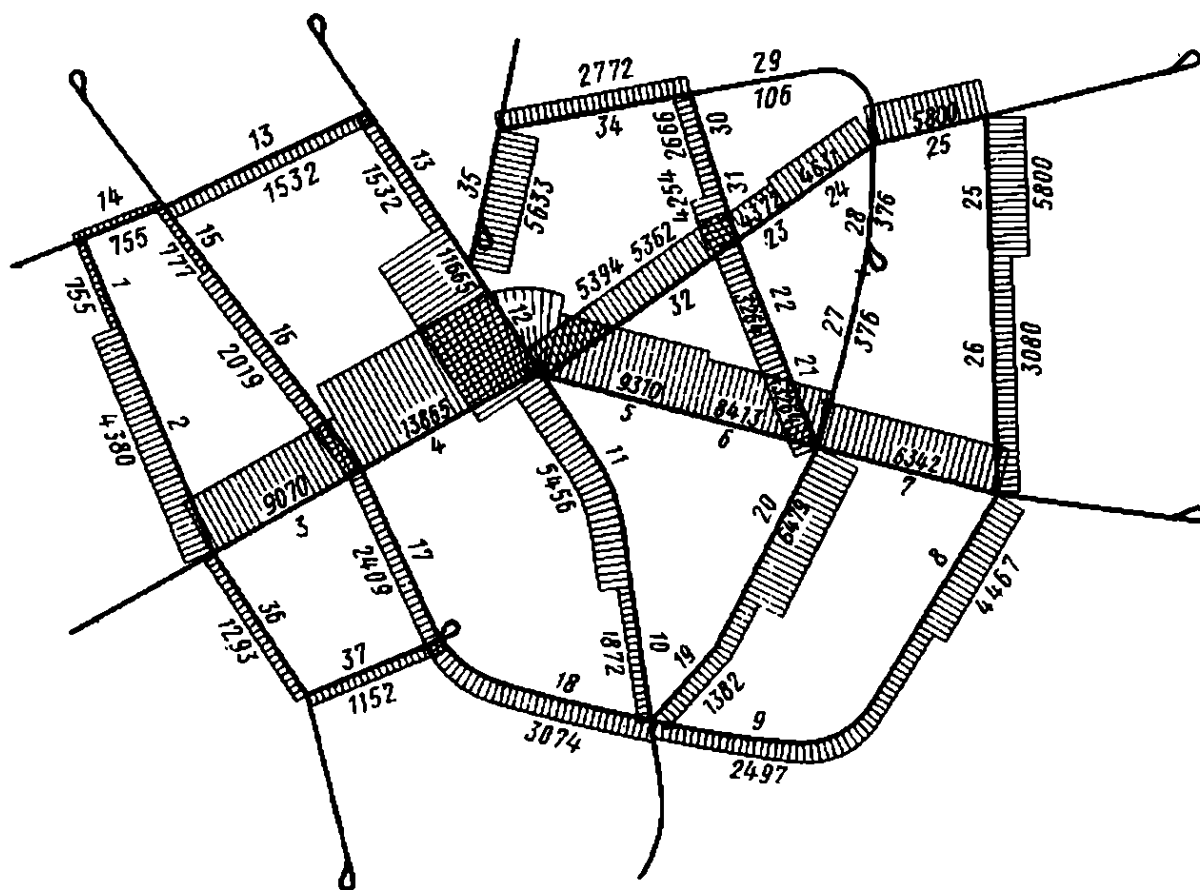


Рис. 14.3

Корректировка транспортной сети по критерию возможности организации движения с заданными интервалами и наполнением поездов. После построения картограмм пассажиропотоков проверяем участки ТС с минимальными пассажиропотоками (они должны допускать организацию пассажироперевозок поездами минимальной расчетной вместимости при интервалах между ними, не превышающих максимально допустимого) и участки с максимальными пассажиропотоками (они должны допускать организацию перевозок поездами максимальной расчетной вместимости с интервалами между поездами, не меньшими минимально допустимого).

Соотношение между часовым пассажиропотоком $F_{\text{ч}} = (\text{пасс/ч})$, маршрутным интервалом $t_{\text{и}}$ (мин) и расчетной вместимостью $m_{\text{р}}$ поездов определяется уравнением

$$F_{\text{ч}} t_{\text{и}} / 60 = m_{\text{р}}. \quad (14.9)$$

Для городов III группы населенности расчетный ряд вместимостей требующегося подажного состава по табл. 13.3 составляют вместимости 35, 65 и 110 пасс-мест. Принимая максимальный маршрутный интервал между поездами $t_{\text{и, макс}} = 10$ мин, по (14.9) найдем допустимый минимальный среднесуточный часовой пассажиропоток $F_{\text{доп}}$, при котором может быть организован маршрут:

$$F_{\text{доп}} = \frac{60}{t_{\text{и, макс}}} m_{\text{р, мин}} k_{\text{н.с}} = \frac{60}{10} \cdot 35 \cdot 0,35 = 74 \text{ пасс/ч}, \quad (14.10)$$

где $k_{\text{н.с}}$ — среднесуточный коэффициент наполнения подажного состава (обычно принимают $k_{\text{н.с}} = 0,35$).

Фактический минимальный часовой пассажиропоток на участках сети с учетом среднесуточной работы поездов на линии в течение h , ч, коэффициента сезонной неравномерности пассажироперевозок $k_{\text{с}}$ и коэффициента неравномерности пассажиропотоков по направлениям $k_{\text{н.п}}$ при известном годовом пассажиропотоке $F_{\text{г}}$ (суммарном на два направления движения) составит:

$$(F_{\text{ч, мин}})_i = (F_{\text{г}})_i / (2 \cdot 365 h k_{\text{с}} k_{\text{н.п}}). \quad (14.11)$$

По смыслу выполненных расчетов пассажиропотоки на участках сети равны соответствующим объемам пассажироперевозок:

$$F_i = A_i.$$

С учетом этого

$$(F_{\text{ч, мин}})_i = (A_{\text{ч, мин}})_i = (A_{\text{г}})_i / (2 \cdot 365 h k_{\text{с}} k_{\text{н.п}}). \quad (14.12)$$

Для участков 29, 27 и 28 с минимальным пассажиропотоком 211 и 751 тыс. пасс/год, принимая $h = 14$ ч, $k_{\text{с}} = 1,1$ и $k_{\text{н.п}} = 1,6$, получим:

$$\begin{aligned} (F_{\text{ч, мин}})_{27,28} &= 751\,000 / (2 \cdot 365 \cdot 14 \cdot 1,1 \cdot 1,6) = \\ &= 41,6 \text{ пасс/ч} < F_{\text{доп}} = 74 \text{ пасс/ч}. \end{aligned}$$

Следовательно, принятая ТС и маршрутная система не удовлетворяют критерию организации движения на участках с минимальными пассажиропотоками и требуют корректировки. Последняя может заключаться в снятии ТС с этих участков с передачей пассажиропотока на другие направления; изменении маршрутной системы или назначении маршрутов по системе загородных — с увеличенными интервалами. Требуемые интервалы движения $t_{\text{нф}}$ на таких маршрутах могут быть найдены из условия обратной зависимости между пассажиропотоками и интервалами движения: $t_{\text{нф}}/t_{\text{н.макс}} = F_{\text{доп}}/F_{\text{ч.мин}}$, откуда

$$t_{\text{нф}} = t_{\text{н.макс}} F_{\text{доп}}/F_{\text{ч.макс}}.$$

Аналогично (14.10) может быть определен максимальный пассажиропоток $F_{\text{м.макс}}$ в часы пик, при котором может быть организован маршрут:

$$F_{\text{м.макс}} = (60/t_{\text{н.мин}}) m_{\text{р.макс}} = (60/2) 110 = 3300 \text{ пасс/ч.} \quad (14.13)$$

Соответственно максимальный пассажиропоток $F_{\text{уч.макс}}$ в часы пик, при котором могут быть организованы пассажироперевозки на участке транспортной сети:

$$F_{\text{уч.макс}} = F_{\text{м.макс}} n_{\text{м}}, \quad (14.14)$$

где $n_{\text{м}}$ — количество маршрутов, совмещенных на рассматриваемом участке ТС.

Максимальный пассажиропоток в часы пик на участках ТС с учетом коэффициентов часа пик $k_{\text{ч.п}}$ сезонной неравномерности $k_{\text{с}}$ и неравномерности распределения пассажиропотоков по направлениям $k_{\text{н.п}}$ при известном годовом пассажиропотоке $F_{\text{г}} = A_{\text{г}}$ составит:

$$(F_{\text{уч.макс}})_i = [(A_{\text{г}})_i / (365 \cdot 2)] k_{\text{с}} k_{\text{н.п}} k_{\text{ч.п}}. \quad (14.15)$$

Для участка 4 с максимальным пассажиропотоком 27 730 тыс. пасс/год по (14.15), принимая $k_{\text{ч.п}} = 0,1$, получим:

$$(F_{\text{уч.макс}})_4 = (27\,730 / 2 \cdot 365) 1,1 \cdot 1,6 \cdot 0,1 = 6,7 \text{ тыс. пасс/ч.}$$

В соответствии с принятой маршрутной системой (см. рис. 14.2) на участке 4 совмещено пять маршрутов. Следовательно, допускаемая величина пассажиропотока на нем будет

$$F_{\text{доп}} = F_{\text{м.макс}} n_{\text{м}} = 3,3 \cdot 5 = 16,5 \text{ тыс. пасс/ч.}$$

Так как $F_{\text{доп}} > F_{\text{уч.макс}}$, то принятая ТС удовлетворяет критерию организации пассажироперевозок на участке максимального пассажиропотока поездами максимальной вместимости с допускаемыми интервалами.

Выбор вариантов транспортной системы и определение требуемого количества подвижного состава для освоения расчетных пассажироперевозок. В проектируемом городе в соответствии с данными табл. 13.4 для освоения пассажироперевозок с заданными интервалами движения потребуются следующие типы подвижного состава и распределение пассажироперевозок между ними: вместимостью 35 пасс-мест — 15%;

вместимостью 65 пасс-мест — 48%; вместимостью 110 пасс-мест — 37%.

Варианты возможных транспортных систем с подвижным составом такой вместимости указаны в табл. 13.5: 1 — автобус малой вместимости, автобус средней вместимости, автобус большой вместимости; 2 — автобус малой вместимости, автобус средней вместимости, трамвай большой вместимости; 3 — автобус малой вместимости, троллейбус средней вместимости, троллейбус большой вместимости; 4 — автобус малой вместимости, троллейбус средней вместимости, трамвай большой вместимости.

Требуемое количество подвижного состава в движении по вариантам транспортной системы следует определять в расчете на обеспечение пассажироперевозок в часы пик:

$$N_{\text{дв}} = \frac{Q_{\text{т}} + Q_{\text{кб}}}{365} \cdot \frac{k_c k_{\text{чп}} k_{\text{нн}} k_{\text{дм}}}{v_s} \cdot \frac{\lambda}{m_p}, \quad (14.16)$$

где k_c — коэффициент сезонной неравномерности пассажироперевозок; $k_{\text{чп}}$ — коэффициент часа пик (доля пассажироперевозок часа пик в суточном объеме перевозок); $k_{\text{нн}}$, $k_{\text{дм}}$ — коэффициенты неравномерности пассажироперевозок по направлениям и по длине маршрутов; λ — доля пассажироперевозок, осваиваемая рассматриваемым типом подвижного состава с расчетной вместимостью в часы пик, равной m_p .

Принимая $k_c = 1,1$, $k_{\text{чп}} = 0,1$, $k_{\text{нн}} = 1,4$ и $k_{\text{дм}} = 1,5$, получим:

$$N_{\text{дв}} = \frac{(199038,2 + 183329,9) 1000}{365} \cdot \frac{1,1 \cdot 0,1 \cdot 1,4 \cdot 1,5}{17} \times \\ \times \frac{\lambda}{m_p} = 13900 \frac{\lambda}{m_p}. \quad (14.17)$$

Инвентарное количество подвижного состава, требуемое для обслуживания пассажироперевозок, определяем с учетом коэффициента β использования подвижного состава (коэффициент β принимают равным для автобуса — 0,8, для троллейбуса — 0,85 и для трамвая — 0,9):

$$N_{\text{и}} = N_{\text{дв}} / \beta = 13900 \lambda / (\beta m_p). \quad (14.18)$$

Результаты вычислений по (14.17) и (14.18) приведены в табл. 14.21.

Варианты возможных систем ГМПТ требуют экономического сравнения. Однако варианты второй и четвертый, связанные с использованием трамвая, можно исключить без рассмотрения, так как создавать в городе трамвайное хозяйство с инвентарем 52 вагона нецелесообразно. Остаются варианты первый и третий, рассчитанные на использование автобусов и троллейбусов:

первый вариант ГМПТ — автобус малой вместимости — 75 машин в инвентаре, автобус средней вместимости — 129 машин в инвентаре, автобус большой вместимости — 59 машин в инвентаре;

третий вариант ГМПТ — автобус малой вместимости — 75 машин в инвентаре, троллейбус средней вместимости — 121 машина в инвентаре, троллейбус большой вместимости — 55 машин в инвентаре.

Т а б л и ц а 14.21

Вместимость требуемого подвижного состава, человек	Доля осваиваемых перевозок, %	Требуемое количество подвижного состава			
		в движении	в инвентаре		
			автобус	троллейбус	трамвай
35	15	60	75	—	—
65	48	103	129	121	—
110	37	47	59	55	52

Приведенные строительно-эксплуатационные затраты рассматриваемых вариантов ГМПТ определяем по (14.7).

Приведенные эксплуатационные расходы и капитальные затраты транспортных хозяйств трамвая, троллейбуса и автобуса, принимаемые в настоящее время в транспортных расчетах, показаны соответственно в табл. 14.22 и 14.23.

Т а б л и ц а 14.22

Тип подвижного состава	Эксплуатационные расходы ΣQ при среднесуточном коэффициенте наполнения подвижного состава, равном 0,35, по видам ГМПТ, коп/(пасс-км)		
	Трамвай	Троллейбус	Автобус
Двухосный с прицепом	0,35	—	—
Четырехосный	0,6	—	—
Шестисосный	0,45	—	—
Восьмисосный	0,3	—	—
Средней вместимости	—	0,83	0,98
Большой вместимости	—	0,77	0,83
Особо большой вместимости (сочлененный)	—	0,62	0,7
Малой вместимости	—	—	1,32

В сравниваемых вариантах ГМПТ затраты по автобусам вместимостью 35 пасс.-мест одинаковы и могут не рассматриваться, но при этом необходимо выделить ТС, обслуживаемую остальным подвижным составом, и объем транспортной работы, выполняемый на ней.

Количество единиц подвижного состава, приходящихся на 1 км длины ТС (плотность движения), при одинаковом сетевом интервале для всех типов подвижного состава независимо от вместимости равно (для обоих вариантов):

$$n_c = \sum N_{дв}/L_c = (75 + 129 + 59)/44,7 = 5,88 \text{ машин/км.}$$

Таблица 14.23

Наименование сооружений	Единица измерения	Капитальные затраты на единицу измерения, тыс. руб.									
		Трамвай			Троллейбус			Автобус			
		четырехосный	двухосный с прицепом и шестисосный	восьмисосный	средней вместимости	большой вместимости	особо большой вместимости (сочлененный)	малой вместимости	средней вместимости	большой вместимости	особо большой вместимости (сочлененный)
Депо и парки	1 машино-место	6,5	7,2	7,5	6	6,6	7,8	4,5	4,8	5,2	6,5
Тяговые подстанции	1 вагон и движение	3	3,5	3,8	4	4,5	5,5	—	—	—	—
Рельсовый путь	1 км двойного пути	100	100	100	—	—	—	—	—	—	—
Контактная и кабельная сеть	1 км	13	13	13	18	18	18	—	—	—	—
Городские дороги I и II категории	1 км полосы движения шириной 3,5 м	—	—	—	90	90	90	90	90	90	90
Единица подвижного состава	1 шт.	18	32	40	11	16	22	3,5	6,0	12,5	18,5

Протяженность ТС, обслуживаемая автобусами малой вместимости

$$L_{с.а.м.в} = N_{дв.а.м.в} / n_c = 75 / 5,88 = 12,7 \text{ км.}$$

Протяженность ТС, обслуживаемой подвижным составом средней и большой вместимости, будет

$$L_{сбв} = L_c - a_{с.а.м.в} = 44,7 - 12,7 = 32 \text{ км.}$$

Пассажирооборот ТС, приходящийся на подвижной состав средней и большой вместимости, можно выделить в предположении, что в расчете на одно пассажиро-место он остается одинаковым для подвижного состава всех вместимостей:

$$Q_c / \sum N_{дв} m_p = Q_{сб} / (N_{дв.сб} m_{p.сб}),$$

откуда

$$Q_{сб} = Q_c \frac{N_{дв.с} m_{p.с} + N_{дв.б} m_{p.б}}{\sum N_{дв} m_p} =$$

$$= 382368,1 \frac{103 \cdot 65 + 47 \cdot 110}{103 \cdot 65 + 47 \cdot 110 + 60 \cdot 35} = 323915 \frac{\text{тыс. пасс-км}}{\text{год}}. \quad (14.19)$$

Эксплуатационные затраты по сравниваемым вариантам ГМПТ могут быть определены в предположении их пропорциональности осваиваемым пассажироперевозкам:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{Q1} &= \frac{\mathcal{E}_{Q_{асв}} \lambda_{асв} + \mathcal{E}_{Q_{абв}} \lambda_{абв}}{\lambda_{асв} + \lambda_{абв}} = \\ &= \frac{0,98 \cdot 48 + 0,83 \cdot 37}{48 + 37} = 0,91 \frac{\text{коп}}{(\text{пасс-км})}; \\ \mathcal{E}_{Q3} &= \frac{\mathcal{E}_{Q_{тбсв}} \lambda_{тбсв} + \mathcal{E}_{Q_{тббв}} \lambda_{тббв}}{\lambda_{тбсв} + \lambda_{тббв}} = \\ &= \frac{0,82 \cdot 48 + 0,77 \cdot 37}{48 + 37} = 0,80 \frac{\text{коп}}{(\text{пасс-км})}, \end{aligned}$$

где величины $\mathcal{E}_Q$ взяты из табл. 14.22, а λ — из табл. 14.21.

Требующиеся капитальные затраты по первому варианту (автобус средней вместимости — 103 машины в движении, 129 в инвентаре и автобус большой вместимости — 47 машин в движении, 59 в инвентаре) определяем с использованием данных табл. 14.23: в депо и парки $K_1 = 4,8 \cdot 129 + 5,2 \cdot 59 = 619,2 + 306,8 = 926$ тыс. руб.; в подвижной состав $K_2 = 6 \cdot 129 + 12,5 \cdot 59 = 774 + 737 = 1511$ тыс. руб.

Суммарные капитальные затраты по первому варианту:

$$K_{\Sigma 1} = 926 + 1511 = 2437 \text{ тыс. руб.}$$

Требующиеся капитальные затраты по третьему варианту (троллейбус средней вместимости — 103 машины в движении, 121 в инвентаре и троллейбус большой вместимости — 47 машин в движении, 55 в инвентаре) составят: в депо и парки $K_1 = 6 \cdot 121 + 6,6 \cdot 55 = 1089$ тыс. руб.; в подвижной состав $K_2 = 11 \cdot 121 + 16 \cdot 55 = 2211$ тыс. руб.; в тяговые подстанции $K_3 = 4 \cdot 121 + 4,5 \cdot 55 = 731,5$ тыс. руб.; в контактную и кабельную сеть $K_4 = 18 \cdot 32 = 576$ тыс. руб.

Суммарные капитальные затраты по третьему варианту

$$K_{\Sigma 3} = 1089 + 2211 + 731,5 + 576 = 4607,5 \text{ тыс. руб.}$$

При подсчете капитальных затрат $K_{\Sigma 1}$ и $K_{\Sigma 3}$ не учтены капитальные затраты на строительство городских дорог, отчисления от которых на автобус и троллейбус составляют около 12% полной стоимости. По рассматриваемым вариантам они одинаковы и поэтому могут во внимание не приниматься.

Приведенные строительно-эксплуатационные затраты для сравниваемых вариантов по (4.7):

$$S_1 = \mathcal{E}_{Q1} + \frac{100 K_{\Sigma 1} \epsilon_n}{Q_{сб}} = 0,91 + \frac{100 \cdot 2437 \cdot 0,1}{323915} = 0,98 \frac{\text{коп}}{\text{пасс-км}};$$

$$S_3 = \mathcal{E}_{q3} + \frac{100K_{\Sigma 3} \epsilon_n}{Q_{\Sigma 3}} = 0,80 + \frac{100 \cdot 4607,5 \cdot 0,1}{323\,915} = 0,94 \frac{\text{коп}}{\text{пасс-км}}.$$

Таким образом, по приведенным строительно-эксплуатационным затратам выгоднее третий вариант ГМПТ, ориентированный на обслуживание основных пассажироперевозок троллейбусами. Он, безусловно, предпочтительнее также по санитарно-гигиеническим соображениям и перспективам развития городского транспорта.

Расчет срока окупаемости затрат для выбранного варианта ГМПТ.

Срок окупаемости затрат

$$T = K/(D - P), \quad (14.20)$$

где K — общие капиталовложения в систему ГМПТ по выбранному варианту; D — годовые доходы от пассажироперевозок; P — годовые эксплуатационные расходы по системе ГМПТ.

Годовые доходы от пассажироперевозок по принятому варианту ГМПТ

$$D = A_a \tau_a + A_{\text{тб}} \tau_{\text{тб}}, \quad (14.21)$$

где A_a и $A_{\text{тб}}$ — годовой объем пассажироперевозок (в маршрутных поездках), приходящихся на автобусы и троллейбусы; τ_a и $\tau_{\text{тб}}$ — тариф за проезд на автобусе и троллейбусе.

Предполагая, что длина маршрутной поездки пассажиров на всех видах ГМПТ примерно одинакова, объемы пассажироперевозок автобусами и троллейбусами в выбранном варианте ГМПТ можно получить из соотношений:

$$A_a = (1 - \lambda_{\text{тб}}) A_m; \quad A_{\text{тб}} = \lambda_{\text{тб}} A_m, \quad (14.22)$$

где $\lambda_{\text{тб}} = A_{\text{тб}}/A_m = Q_{\text{тб}}/Q_c = 323\,915/382\,368,1 = 0,84$; $A_m = A_{\text{тм}} + A_{\text{кбм}} = 150\,613$ тыс. маршрутных поездок; $A_a = (1 - \lambda_{\text{тб}}) A_m = (1 - 0,89) \times 150\,613 = 16\,567$ тыс. поездок; $A_{\text{тб}} = \lambda_{\text{тб}} A_m = 0,89 \cdot 150\,613 = 134\,045$ тыс. поездок.

Принимая $\tau_a = 0,05$ руб. и $\tau_{\text{тб}} = 0,04$ руб., получим [см. (14.21)]

$$\begin{aligned} D &= A_a \tau_a + A_{\text{тб}} \tau_{\text{тб}} = (16\,567 \cdot 0,05 + 134\,046 \cdot 0,04) = \\ &= 828,35 + 5361,84 = 6190,2 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Годовые эксплуатационные расходы системы ГМПТ

$$P = Q_a \mathcal{E}_{a.m.v} + Q_{\text{тб}} \mathcal{E}_{\text{тб.св}} + Q_{\text{тб.б.в}} \mathcal{E}_{\text{тб.б.в}}, \quad (14.23)$$

где аналогично (14.19):

$$\frac{Q_{\text{тб}}}{\Sigma N_{\text{дв.тб}} m_{\text{р.тб}}} = \frac{Q_{\text{тб.с}}}{N_{\text{дв.тб.с}} m_{\text{р.тб.с}}},$$

$$Q_{\text{тб.с.в}} = Q_{\text{тб}} \frac{N_{\text{дв.тб.с}} m_{\text{р.тб.с}}}{\sum N_{\text{дв.тб}} m_{\text{р.тб}}} = 323\,915 \times$$

$$\times \frac{103,65}{103,65 + 47,110} = 323\,915 \cdot 0,56 = 181\,392 \text{ тыс. пасс-км/год};$$

$$Q_{\text{тб.бв}} = Q_{\text{тб}} - Q_{\text{тб.с.в}} = 323\,915 - 181\,392 =$$

$$= 142\,523 \text{ тыс. пасс-км/год.} \quad (14.24)$$

Следовательно,

$$P = (382\,368,1 - 323\,915) \cdot 0,0132 + 181\,392 \cdot 0,0082 +$$

$$+ 142\,523 \cdot 0,0077 = 771,6 + 1487,4 + 1097,4 = 3356,4 \text{ тыс. руб.}$$

Окончательно имеем:

$$T = K/(D - P) = 4607,5/(6190,2 - 3356,4) =$$

$$= 4607,5/2833,8 = 1,63 \text{ год.}$$

§ 14.2. Расчет ГМПТ для вновь застраиваемого района существующего города

Особенности расчетов ГМПТ при расширении транспортной системы в связи с ростом городов состоят в необходимости учета существующей транспортной ситуации, имеющихся в городе видов ГМПТ, наличной и перспективной транспортной подвижности населения. Рассмотрим их на примере расчета ГМПТ для района новой застройки существующего города [12].

Исходные данные: генеральный план района с существующей и проектируемой застройкой (рис. 14.4); население района на начало реконструкции составляет 92 тыс. человек; перспективным планом развития района предусмотрено строительство 1000 тыс. м² жилой площади; расчетное количество населения на конец реконструкции района составит $N = 120$ тыс. человек. Схему существующей на начало реконструкции района ТС образуют:

1) один троллейбусный $T-1$ и три автобусных маршрута $A-1$, $A-2$, $A-3$, связывающих западную часть района с городским центром и промышленными предприятиями по магистрали III ;

2) железная дорога в северной части района с платформой II , удаленной от основного жилого массива западной части района на 1,5—2,0 км. Подвоз пассажиров к железнодорожной платформе осуществляют два челночных автобусных маршрута $Ч-1$ и $Ч-2$;

3) автобусный маршрут $A-4$, связывающий восточную часть района с центром города и промышленными предприятиями по магистрали IV ;

4) железная дорога с платформой I , удаленной от основного жилого массива восточной части города на 3,5 км.

Характеристика существующих маршрутов дана в табл. 14.24.

Ожидаемое распределение пассажиропотоков из района в город после реконструкции в процентах от общего пассажиропотока: по автомагистрали III — 45%, по автомагистрали IV — 30%, по железной дороге от платформы II — 15%, по железной дороге от платформы I — 10%.

причем по данным обследований 30% жителей, пользующихся железной дорогой, проживают в зоне ее пешеходной доступности и общественным транспортом не пользуются. Ожидаемая транспортная подвижность населения района после реконструкции составит $p = 450$ поездок/год на жителя.

Расчет ожидаемых пассажироперевозок. Ожидаемый годовой объем пассажироперевозок из района в город

$$A = H p = 120 \cdot 450 = 54\,000 \text{ тыс. пасс/год.}$$

Ожидаемый объем пассажироперевозок в час пик (пассажиропоток из района в город в час пик):

$$A_{\text{чп}} = \frac{A}{2 \cdot 365} k_c k_{\text{чп}} k_{\text{нп}} = \frac{54\,000}{2 \cdot 365} \cdot 1 \cdot 0,15 \cdot 1,5 = 17 \text{ тыс. пасс/год,}$$

где по данным обследований ожидаемые коэффициенты неравномерности пассажироперевозок: сезонный $k_c = 1$, часа пик $k_{\text{чп}} = 0,15$, по направлениям движения $k_{\text{нп}} = 1,5$.

Ожидаемое распределение пассажироперевозок часа пик из района в город: 1) по автомагистрали III — $17 \cdot 0,45 = 7,6$ тыс. пасс/ч; 2) по ав-

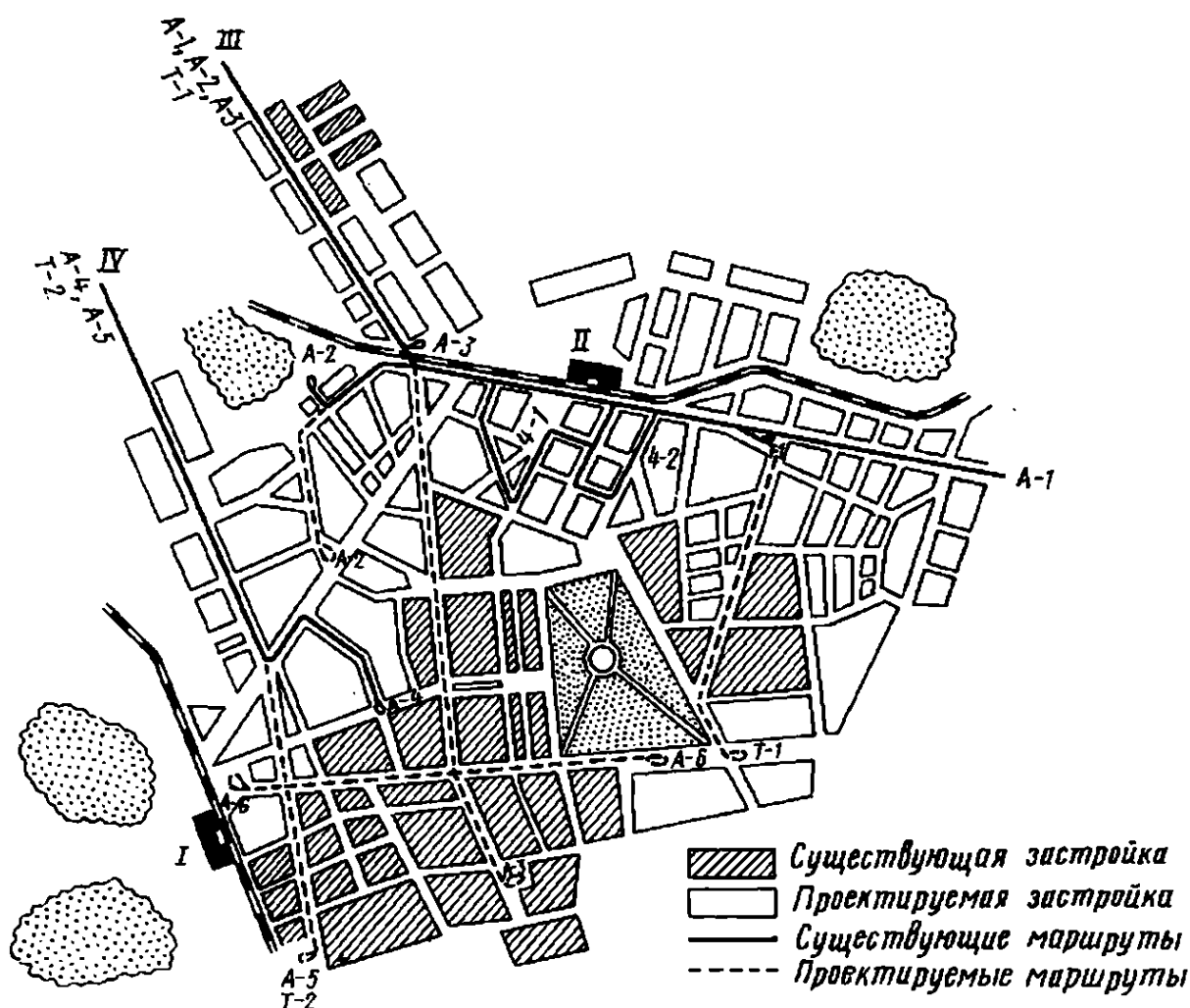


Рис. 14.4

Генеральный план города с существующей и проектируемой застройкой

томагистральной *IV* — $17 \cdot 0,30 = 5,1$ тыс. пасс/ч; 3) от железнодорожной платформы *II* — $17 \cdot 0,15 = 2,6$ тыс. пасс/ч; 4) от железнодорожной платформы *I* — $17 \cdot 0,10 = 1,7$ тыс. пасс/ч.

Таким образом, пассажиропоток в город, предъявляемый на МПТ и железную дорогу, составит соответственно $7,6 + 5,1 = 12,7$ тыс. пасс/ч и $2,6 + 1,7 = 4,3$ тыс. пасс/ч, причем 70% последних будут приходиться на подвозящий транспорт: $2,6 \cdot 0,7 = 1,8$ тыс. пасс/ч — к железнодорожной платформе *II* и $1,7 \cdot 0,7 = 1,2$ тыс. пасс/ч — к железнодорожной платформе *I*. Общий объем пассажироперевозок МПТ района составит $12,7 + 1,82 + 1,2 = 15,7$ тыс. пасс/ч.

Таблица 14.24

Привязка	Характеристики маршрутов района до реконструкции				
	Номера	Длина км	Тип обслуживающего подвижного состава	Вместимость подвижного состава	Частота движения, машин/ч
Автоматристраля III	<i>T-1</i>	7,0	МТБ-82	60	34
»	<i>A-1</i>	9,0	ЛИАЗ-158	60	30
»	<i>A-2</i>	8,5	ЛИАЗ-158	60	30
»	<i>A-3</i>	6,0	ЛИАЗ-158	60	20
Автоматристраля IV	<i>A-4</i>	11,0	ЛИАЗ-158	60	20
Платформа II	<i>Ч-1</i>	2,6	ЛИАЗ-158	60	7
»	<i>Ч-2</i>	2,2	ЛИАЗ-158	60	8

Расчет приращения пассажироперевозок после реконструкции района. Провозная способность ГМПТ (пасс/ч), обслуживающего связи района с городом до реконструкции, определяется интенсивностью (частотой) движения J (поездов/ч) и вместимостью поездов m (пасс-мест):

$$B = Jm \text{ (пасс/ч).} \quad (14.25)$$

Провозная способность ГМПТ, связывающего район с городом по автомагистрали *III*, составляет (см. табл. 14.25): для троллейбусного маршрута *T-1* — $34 \cdot 60 = 2000$ пасс/ч; для автобусных маршрутов *A-1*, *A-2* и *A-3* — $(30 + 30 + 20) \cdot 60 = 4800$ пасс/ч.

Итого по автомагистрали *III*

$$B_{III} = 2 + 4,8 = 6,8 \text{ тыс. пасс/ч.}$$

Провозная способность автобусного маршрута *A-4*, обслуживающего автомагистраль *IV*, составляет $20 \cdot 60 = 1200$ пасс/ч, провозная способность автобусных маршрутов *Ч-1* и *Ч-2*, подвозящих пассажиров к железнодорожной платформе *II*, равна $(7 + 8) \cdot 60 = 900$ пасс/ч.

Итого общая провозная способность ГМПТ, связывающего район с городом до расширения района, составляет $6,8 + 1,2 + 0,9 = 8,9$ тыс. пасс/ч.

Таким образом, разность между ожидаемыми пассажироперевозками после реконструкции и провозной способностью ГМПТ, существующего до реконструкции, составляет $15,7 - 8,9 = 6,8$ тыс. пасс/ч, в том числе: по автомагистрали *III* $7,6 - 6,8 = 0,8$ тыс. пасс/ч; по автомагистрали *IV* $5,1 - 1,2 = 3,9$ тыс. пасс/ч; от железнодорожной платформы *II* $1,8 - 0,9 = 0,9$ тыс. пасс/ч; по подвозящим маршрутам к железнодорожной платформе *I* — 1,2 тыс. пасс/ч.

Расчет развития системы ГМПТ района. Для реализации возросших пассажироперевозок по магистрали *III* предусматривается (см. рис. 14.4): удлинение маршрута *A-3* в район новой застройки на $\Delta l_{A-3} = 5$ км; удлинение троллейбусного маршрута *T-1* в район новой застройки на $\Delta l_{T-1} = 2,5$ км; удлинение автобусного маршрута *A-2* в целях улучшения транспортного обслуживания старой застройки района на $\Delta l_{A-2} = 1,5$ км.

Дополнительный объем пассажироперевозок по автомагистрали *III*, равный $A_{III} = 0,8$ тыс. пасс/ч, распределится между маршрутами *T-1*, *A-3* и *A-2* пропорционально увеличению их зон транспортного влияния (количества жителей, проживающих в соответствующих зонах транспортного влияния).

В первом приближении $A_{A-3} : A_{T-1} : A_{A-2} = \Delta l_{A-3} : \Delta l_{T-1} : \Delta l_{A-2} = 5 : 2,5 : 1,5$, откуда

$$A_{A-3} = A_{III} \Delta l_{A-3} / \Sigma \Delta l = 0,8 \cdot 5 / 9 = 0,445 \text{ тыс. пасс/ч}; \quad (14.26)$$

$$A_{T-1} = A_{III} \Delta l_{T-1} / \Sigma \Delta l = 0,8 \cdot 2,5 / 9 = 0,222 \text{ тыс. пасс/ч}; \quad (14.27)$$

$$A_{A-2} = A_{III} \Delta l_{A-2} / \Sigma \Delta l = 0,8 \cdot 1,5 / 9 = 0,133 \text{ тыс. пасс/ч}. \quad (14.28)$$

Частота движения подвижного состава, требующаяся для освоения расчетных пассажироперевозок, после реконструкции района будет составлять:

на маршруте *A-3*

$$\begin{aligned} J_{A-3} &= \frac{A_{A-3}}{m_{A-3}} = \frac{B_{A-3} + \Delta A_{A-3}}{m_{A-3}} = \frac{20 \cdot 60 + 445}{60} = \\ &= 27,4 \approx 28 \text{ машин/ч}; \end{aligned} \quad (14.29)$$

на маршруте *T-1* после замены троллейбусов МТБ-82 на серийные троллейбусы ЗиУ-9

$$\begin{aligned} J_{T-1} &= \frac{A_{T-1}}{m_{T-1}} = \frac{B_{T-1} + \Delta A_{T-1}}{m_{T-1}} = \frac{2000 + 222}{90} = \\ &= 25 \text{ машин/ч}; \end{aligned} \quad (14.30)$$

на маршруте *A-2*

$$\begin{aligned} J_{A-2} &= \frac{A_{A-2}}{m_{A-2}} = \frac{B_{A-2} + \Delta A_{A-2}}{m_{A-2}} = \frac{30 \cdot 60 + 133}{60} = \\ &= 32,2 \approx 32 \text{ машин/ч}. \end{aligned}$$

Для реализации возросших пассажироперевозок по автомагистрали IV предусматривается (см. рис. 14.4): организация нового автобусного маршрута А-5 длиной 7 км; строительство новой троллейбусной линии Т-2 длиной 10,5 км; полное использование провозной способности маршрута А-4.

По проведенному выше расчету провозная способность маршрута А-4 составляет 1,2 тыс. пасс/ч.

На автомагистрали IV после реконструкции района пассажироперевозки возрастут на $\Delta A_{IV} = 3,9$ тыс. пасс/ч. Принимая частоту движения на автобусном и троллейбусном маршрутах одинаковой, найдем

$$\Delta A_{IV} = \Delta A_{A-5} + \Delta A_{T-2} = J_{A-5} m_{A-5} + J_{T-2} m_{T-2} = J_{A,T} (m_{A-5} + m_{T-2}),$$

откуда

$$J_{A,T} = \Delta A_{IV} / (m_{A-5} + m_{T-2}) = 3900 / (60 + 90) = 26 \text{ машин/ч.} \quad (14.31)$$

Следовательно, нагрузки маршрутов А-5 и Т-2 составят:

$$A_{A-5} = J_{A,T} m_{A-5} = 26 \cdot 60 = 1560 \text{ пасс/ч;} \quad (14.32)$$

$$A_{T-2} = J_{A,T} m_{T-2} = 26 \cdot 90 = 2340 \text{ пасс/ч.} \quad (14.33)$$

Для реализации пассажироперевозок к железнодорожной платформе II предлагается увеличение частоты движения на челночных маршрутах Ч-1 и Ч-2. Пассажиропоток на этих маршрутах должен увеличиться вдвое — на 0,9 тыс. пасс/ч, соответственно чему вдвое, т. е. на 15 машин/ч, должна возрасти и частота движения (желательно ее распределить так, чтобы на маршруте Ч-1 она увеличилась на 8 машин/ч и на маршруте Ч-2 на 7 машин/ч: при этом на обоих маршрутах она будет одинаковой — по 15 машин/ч).

Для реализации пассажироперевозок к железнодорожной платформе I организован автобусный маршрут А-6 длиной 3,5 км. Расчетная частота движения на нем:

$$J_{A-6} = A_I / m_{A-6} = 1200 \cdot 60 = 20 \text{ машин/ч.} \quad (14.34)$$

Расчет количества подвижного состава для обслуживания пассажироперевозок, ожидаемых после реконструкции района. Требуемое количество подвижного состава на маршруте:

$$N_{дв.м} = J_m t_p = J_m 2l_m / v_z, \quad (14.35)$$

где J_m — интенсивность (частота) движения на маршруте; l_m — его длина; v_z — эксплуатационная скорость подвижного состава (для автобуса $v_z = 16$ км/ч, для троллейбусов $v_z = 15$ км/ч).

По (14.35) необходимое количество подвижного состава в движении на всех маршрутах:
на маршруте Т-1

$$N_{дв.Т-1} = 25 \cdot 2 (7 + 2,5) / 15 = 32 \text{ машины;}$$

на маршруте Т-2

$$N_{\text{дв Т-2}} = 26 \cdot 2 \cdot 10,5/15 = 37 \text{ машин};$$

на маршруте А-1

$$N_{\text{дв А-1}} = 30 \cdot 2 \cdot 9/16 = 34 \text{ машины};$$

на маршруте А-2

$$N_{\text{дв А-2}} = 32 \cdot 2 \cdot (8,5 + 1,5)/16 = 40 \text{ машин};$$

на маршруте А-3

$$N_{\text{дв А-3}} = 28 \cdot 2 \cdot (6 + 5)/16 = 39 \text{ машин};$$

на маршруте А-4

$$N_{\text{дв А-4}} = 20 \cdot 2 \cdot 11/16 = 28 \text{ машин};$$

на маршруте А-5

$$N_{\text{дв А-5}} = 26 \cdot 2 \cdot 7/16 = 23 \text{ машины};$$

на маршруте А-6

$$N_{\text{дв А-6}} = 20 \cdot 2 \cdot 3,5/10 = 9 \text{ машин};$$

на маршруте Ч-1

$$N_{\text{дв Ч-1}} = 15 \cdot 2 \cdot 2,6/16 = 5 \text{ машин};$$

на маршруте Ч-2

$$N_{\text{дв Ч-2}} = 15 \cdot 2 \cdot 2,2/16 = 4 \text{ машины}.$$

Общее требующееся количество подвижного состава в движении будет:

по троллейбусным маршрутам

$$N_{\text{дв.тб}} = 32 + 37 = 69 \text{ машин};$$

по автобусным маршрутам

$$N_{\text{дв.а}} = 34 + 40 + 39 + 28 + 23 + 9 + 5 + 4 = 182 \text{ машины}.$$

Требующееся инвентарное количество подвижного состава троллейбусов $N_{\text{и.тб}}$ и автобусов $N_{\text{и.а}}$ найдем, принимая коэффициент использования подвижного состава для троллейбусов $\beta_{\text{тб}} = 0,85$ и для автобусов $\beta_{\text{а}} = 0,8$:

$$N_{\text{и.тб}} = N_{\text{дв.тб}}/\beta_{\text{тб}} = 69/0,85 = 81 \text{ машина};$$

$$N_{\text{и.а}} = N_{\text{дв.а}}/\beta_{\text{а}} = 182/0,8 = 227 \text{ машин}.$$

Проверка интервалов движения на маршрутах и в сечениях магистралей. Интервал движения поездов $t_{п.м}$ на маршрутах с интенсивностью движения J_m (поездов/ч):

$$t_{п.м} = 60/J_m. \quad (14.36)$$

По (14.36) получим:
на маршруте $T-1$

$$t_{п. T-1} = 60/25 = 2,4 \text{ мин};$$

на маршруте $T-2$

$$t_{п. T-2} = 60/26 = 2,3 \text{ мин};$$

на маршруте $A-1$

$$t_{п. A-1} = 60/30 = 2 \text{ мин};$$

на маршруте $A-2$

$$t_{п. A-2} = 60/32 = 1,9 \text{ мин};$$

на маршруте $A-3$

$$t_{п. A-3} = 60/28 = 2,1 \text{ мин};$$

на маршруте $A-4$

$$t_{п. A-4} = 60/20 = 3 \text{ мин};$$

на маршруте $A-5$

$$t_{п. A-5} = 60/26 = 2,1 \text{ мин};$$

на маршруте $A-6$

$$t_{п. A-6} = 60/20 = 3 \text{ мин};$$

на маршрутах $Ч-1$ и $Ч-2$

$$t_{п. Ч-1} = t_{п. Ч-2} = 60/15 = 4 \text{ мин}.$$

Сетевой интервал в сечениях магистралей, по которым проходит n маршрутов:

$$t_{н.с} = 1/(1/t_{н1} + 1/t_{н2} + \dots + 1/t_{нn}). \quad (14.37)$$

Наиболее загружены сечения магистрали III с троллейбусным маршрутом $T-1$ и автобусными маршрутами $A-1$, $A-2$, $A-3$, а также сечения магистрали IV с троллейбусным маршрутом $T-2$ и автобусными маршрутами $A-4$ и $A-5$. Сетевой интервал на магистралях:

$$t_{н.с III} = 1/(1/2,4 + 1/2 + 1/1,9 + 1/2,1) = 0,52 \text{ мин};$$

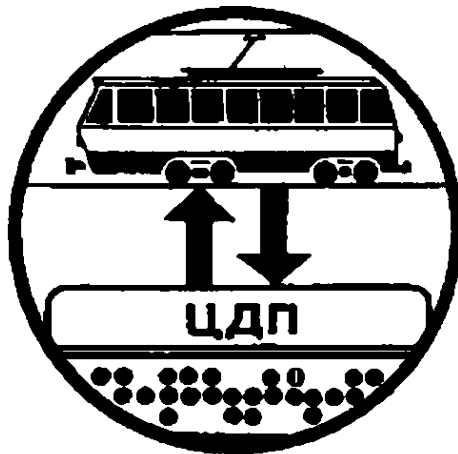
$$t_{н.с IV} = 1/(1/2,3 + 1/3 + 1/2,1) = 0,8 \text{ мин}.$$

На магистрали *IV* сетевой интервал можно считать приемлемым.

На магистрали *III* сетевой интервал находится на пределе пропускной способности и требует увеличения. Для снижения задержек транспорта можно рекомендовать рассредоточение остановочных пунктов и уменьшение частоты движения за счет использования подвижного состава более высокой вместимости.

Определение размеров капиталовложений, требующихся для расширения системы ГМПТ района. При расчетах капиталовложений используем данные табл. 14.23. В расчете учитываем все элементы затрат, связанных с расширением системы ГМПТ: в дороги, подвижной состав, систему электроснабжения, депо и парки, считая, что снятые с эксплуатации троллейбусы и автобусы до списания будут использоваться на других маршрутах.

Раздел третий



ОРГАНИЗАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКОГО МАССОВОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

Глава 15 ПРИНЦИПЫ И СОСТАВ ЗАДАЧ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГПТ

§ 15.1. Маршрутный и новые принципы организации движения традиционных видов ГПТ

Сущность маршрутного принципа пассажироперевозок состоит в организации движения транспортных средств по определенным, заранее установленным направлениям — маршрутам, разделенным остановочными пунктами на отдельные участки — перегоны. По маршрутному принципу работают все традиционные виды ГМПТ — метрополитен, трамвай, троллейбус и автобус. Режим движения на маршруте представляет собой чередование пусков, движения по автоматической характеристике тяговых двигателей, выбега, торможения и стоянки на остановочных пунктах для осуществления пассажирообмена. Характеристики организации движения этого типа определяют длина перегона, наибольшая скорость, достигаемая поездом на перегоне, ходовое время и скорость на перегоне, скорости сообщения и эксплуатационная. Все они рассмотрены в § 3.1.

Маршрутный принцип пассажироперевозок позволяет:

- 1) принудительно организовать и оптимально распределить пассажиропотоки на транспортной сети;
- 2) освоить огромные пассажиропотоки при минимальном использовании площади городских проездов по сравнению с немаршрутной организацией движения по принципу свободного выбора пассажирами направлений движения в пределах заданной транспортной сети;
- 3) оборудовать маршруты различными устройствами, повышающими комфорт транспортного обслуживания (павильонами для ожидания транспорта, посадочными площадками и т. д.).

Наряду с перечисленными выше преимуществами маршрутный принцип пассажироперевозок отличается и рядом недостатков, основными из которых являются:

1. Жесткость, предписывающая населению направление передвижений и не обеспечивающая минимальную непрямолинейность корреспонденций, допускаемую уличной сетью города. Следствием жесткой маршрутной системы является также пересадочность пассажиров в корреспонденциях и увеличение трудности сообщения.

2. Неудовлетворительное использование разрешенной максимальной скорости движения на маршрутах с короткими перегонами и в итоге низкая скорость сообщения в связи с бесполезными для транзитных пассажиров затратами времени на всех промежуточных остановках.

3. Тяжелый динамический режим работы поездов, связанный с непрерывным чередованием пусков и торможения. Он вызывает повышенное загрязнение воздуха выхлопными газами автобусов, повышенную транспортную утомляемость пассажиров и преждевременный износ подвижного состава.

Наиболее существенным недостатком маршрутного принципа организации движения являются низкие скорости оборачиваемости подвижного состава: с низкой скоростью сообщения связаны большие затраты времени в поездках пассажиров и ограничения радиуса транспортной доступности при заданной трудности сообщения, а с низкой эксплуатационной скоростью — недостаточная эксплуатационная экономичность всей системы, низкое использование подвижного состава по пассажирообороту (сменяемости пассажиров), неоправданно большая потребность в подвижном составе, требующемся для освоения заданных пассажироперевозок и др. Основной возможностью повышения скорости сообщения и эксплуатационной скорости на городских маршрутах является увеличение длины перегонов, но практически она может быть мало использована, так как вместе с увеличением длины перегонов растут затраты времени на пешеходный подход пассажиров к остановочным пунктам и снижается доступность транспортной системы, в результате чего она теряет часть пассажиров.

Альтернативой маршрутному принципу пассажироперевозок является принцип свободного движения транспортных средств, сущность которого состоит в предоставлении населению возможности осуществления транспортных передвижений «от двери к двери» в пределах всей дорожной сети или специальной транспортной системы по кратчайшим (в единицах пути или времени) направлениям между пунктами отправления и назначения без пересадок и остановок в пути следования. Потенциальную возможность использования этого принципа организации движения имеют все виды индивидуального транспорта, но практически он реализуется с определенными ограничениями вследствие неизбежных задержек городского транспорта перед светофорами и необходимости выбора направлений движения в пределах ограничений, предписанных дорожными знаками. Достоинствами организации движения по принципу свободного движения являются: 1. Возможность снижения непрямолинейности поездок пассажиров относительно обеспечиваемой

маршрутным ГПТ. 2. Возможность полного использования разрешенной максимальной скорости движения на транспортных проездах, что обеспечивает высокую скорость сообщения и эксплуатационную скорость транспортных средств. В результате этого до минимума снижаются затраты транспортного времени пассажиров и повышается эксплуатационная экономичность транспортных систем. 3. Минимальная транспортная утомляемость пассажиров, связанная с минимумом требующихся пусков и торможений подвижного состава в процессе движения, а также минимальный износ подвижного состава.

Вместе с тем организация городских пассажироперевозок по принципу свободного движения в крупных и крупнейших городах мало реальна, так как имеет большие недостатки. Наиболее существенным из них является неизбежность использования подвижного состава небольшой вместимости с высокой удельной нормой площади транспортного проезда в расчете на одного пассажира. Вследствие этого все основанные на этом принципе организации движения транспортные системы характеризуются сравнительно небольшой провозной способностью.

Весьма желательно создание таких принципов организации движения, которые объединяли бы в себе достоинства маршрутного принципа пассажироперевозок и принципа свободного движения. Поиски их ведутся непрерывно, в особенности в последнее время. Примерами новых принципов организации движения традиционных видов ГМПТ являются принципы экспрессного движения, сочетания обычных маршрутов с экспрессными, организации движения по методам «заказа поездки», «автобус — такси», «фиксированных маршрутов с отклонениями», «по вызовам» и др.

Сущность принципа экспрессного движения состоит в организации маршрутов с остановками подвижного состава только на конечных пунктах (экспрессные маршруты) или на конечных и в крупных пассажирообразующих пунктах (полуэкспрессные маршруты). Желательным условием организации экспрессного движения является выделение его на обособленное полотно, изолированное от остального городского движения, а при совмещении с остальным транспортным потоком — на городские скоростные дороги (ГСД) или улицы непрерывного движения (УНД), где преимущества экспрессного движения могут быть выявлены наиболее полно.

На экспрессных маршрутах реализуются высокие скорости сообщения — до 70 км/ч и более. Благодаря этому организация экспрессных перевозок пассажиров значительно раздвигает зону транспортной доступности городских центров и снижает трудность сообщения. Однако экспрессное движение дает преимущества в основном только транзитным пассажирам, передвигающимся на большие расстояния, и неприемлемо для «местных» пассажиров, передвигающихся на небольшие расстояния. При смешанном пассажиропотоке возможно сочетание экспрессных или полуэкспрессных маршрутов с редкими остановками и обычных «местных» маршрутов с остановками на всех остановочных пунктах.

Достоинство организации экспрессного движения в сочетании с обычным состоит в возможности существенного повышения средней

по сети и обслуживаемым маршрутам скорости сообщения и эксплуатационной скорости подвижного состава. Если на каком-то направлении часть общего пассажиропотока F , равная F_m , обслуживается обычным (местным) маршрутом со скоростью сообщения v_m , а другая, равная F_r , — экспрессным со скоростью сообщения v_r , то средневзвешенная скорость сообщения пассажироперевозок будет

$$v_{св} = (v_m F_m + v_r F_r) / F.$$

Если, например, $F_m = 2500$ пасс/ч, $v_m = 15$ км/ч, $F_r = 7500$ пасс/ч и $v_r = 30$ км/ч, то средневзвешенная скорость сообщения пассажироперевозок составит $v_{св} = (v_m F_m + v_r F_r) / F = (15 \cdot 2,5 + 30 \cdot 7,5) / 10 = 26,25$ км/ч.

Этот пример расчета показывает, что эффективность сочетания обычных маршрутов с экспрессными определяется соотношением пассажиропотоков F_m и F_r , которое требует специального предварительного изучения. Организация экспрессного движения без предварительного изучения пассажиропотоков и пассажирооборота остановочных пунктов может не дать ожидаемых результатов и оказаться экономически неоправданной.

Для ГПТ с разрешенным обгоном экспрессные маршруты можно сочетать с обычными маршрутами на одной полосе движения. При запрещенном обгоне экспрессные маршруты можно вводить на направлениях, обслуживаемых несколькими видами транспорта. Какой из них назначить на экспрессные маршруты, а какой на обычные — зависит от характера осваиваемых пассажироперевозок; если основные пассажироперевозки осуществляются между крупными пассажирообразующими пунктами, экспрессным нужно выбирать вид транспорта с большой провозной способностью, например трамвай, а обычным — вид транспорта с небольшой провозной способностью, например автобус; если основная часть пассажиропотока распределена примерно равномерно между всеми пунктами посадки и высадки, то экспрессным нужно выбирать вид транспорта с небольшой или средней провозной способностью, например автобус, а обычным — транспорт с большой провозной способностью, например трамвай. Эффект от организации экспрессных маршрутов будет при этом, естественно, небольшим. В настоящее время для обслуживания экспрессных маршрутов с небольшой нагрузкой успешно используют микроавтобусы.

Организация движения по системе «заказа поездки», предложенная в 1968—1969 гг. Массачусетским технологическим институтом (США) и практически опробованная в ряде городов США и Англии, рекомендуется для небольших городов и районов с небольшой плотностью населения, где использование обычных средств МПТ, в том числе и автобусов, экономически не оправдывается по причине низкого наполнения. Эта система основана на использовании подвижного состава типа автобусов и микроавтобусов, имеющего небольшую вместимость и допускающего движение с произвольным выбором маршрутов.

Сущность организации движения по системе «заказа поездки» состоит в отказе от маршрутной организации движения по установленному

расписанию. Населению предоставляется возможность по телефону или другими способами передать заявки на поездки в диспетчерский пункт с указанием адресов пунктов отправления и назначения и времени начала поездки. Полученные заявки обрабатываются диспетчерским аппаратом или на ЭВМ, которая выдает оптимальный маршрут и разовое расписание для всех транспортных средств, обслуживающих транспортную систему, на определенный (обычно часовой) отрезок времени. Наиболее эффективна обработка заказов на ЭВМ. Алгоритмы решения задачи составления разового графика движения транспортных средств на ЭВМ обеспечивают оптимальное закрепление наличного парка за вызовами на поездки при оптимальном наполнении подвижного состава и полном удовлетворении всех заявок с гарантированными отклонениями во времени порядка ± 2 — ± 10 мин. Каждый поступивший заказ сохраняется в памяти ЭВМ и сравнивается с ранее произведенными заказами. После перебора всех заказов в заданный временной интервал ЭВМ решает задачу оптимизации маршрутов и выдает диспетчеру наряды на обслуживание пассажироперевозок для всех транспортных средств. Эксплуатационные расходы на организацию движения по методу «заказа поездки» равны расходам обычного способа организации маршрутных перевозок плюс дополнительные расходы на связь с водителями транспортных средств, организацию связи населения с диспетчерским пунктом и применение вычислительной техники для обработки поступающих заказов.

Организация движения автобусов по заказам на систематически повторяющиеся поездки, получившая название системы «автобус — такси», опробована в городах США с населением около 100 тыс. человек (города V группы по принятой классификации в нашей стране). Особенность этой системы организации движения состоит в том, что она рассчитана на постоянных пассажиров для обслуживания в основном трудовых поездок. Пассажиры передают по телефону или пересылают на диспетчерский пункт заказы на определенный период транспортного обслуживания (неделю, месяц, квартал, год), в которых указывают свой домашний адрес, адрес места работы, время начала и окончания работы. Их прикрепляют к соответствующим утренним и вечерним маршрутам. Каждому пассажиру выделяется интервал времени, в течение которого он должен ожидать автобус, и указывается адрес посадки. В автобусе для него резервируется место для сидения. Автобус останавливается и принимает пассажира не далее чем в полуквартале от его дома. Стоимость проезда зависит от расстояния поездки.

Подобная же система организации движения достаточно широко применяется и в СССР для обслуживания ведомственным транспортом работников отдельных предприятий (в частности, транспортных), перевозки школьников и т. д. Принципиальное отличие системы «автобус — такси» заключается в том, что она рассчитана на обслуживание массовых, а не ведомственных перевозок пассажиров.

Организация движения по системе «фиксированных маршрутов с отклонениями» применяется примерно с 1970 г. в ряде городов США, Канады и Западной Европы с населением 50—100 тыс. жителей. Она заключается в организации движения автобусов или микроавтобусов

вместимостью от 10—12 до 40 пасс-мест на фиксированных маршрутах, но так, что по требованиям пассажиров они отклоняются от трассы и доставляют их к пунктам назначения, а затем возвращаются к трассе. В системах организации движения на «фиксированных маршрутах с отклонениями» устанавливают два тарифа: основной — за обслуживание на основном маршруте и добавочный (доплату) — за отклонения от трассы.

Разновидностью организации движения по системе «фиксированных маршрутов с отклонениями» является организация движения по системе «развозящих маршрутов с отклонениями». По этой системе обслуживают пассажироперевозки из центра города в пригороды, из аэропортов в город, от железнодорожного узла в город и т. п. Оплата проезда производится или по системе единого тарифа с доплатой, или по системе покилометрового тарифа. Для части пассажиров организация движения по системе «фиксированных маршрутов с отклонениями» в какой-то степени удобна, но тем не менее она мало перспективна, так как связана с увеличением затрат транспортного времени для основной массы пассажиров и неопределенностью времени поездки.

Организация городских пассажирских перевозок «по вызовам» напоминает организацию движения в системах Personal Rapid Transit (PRT). Она требует установки аппаратуры вызова на всех остановочных пунктах; аппаратуры непрерывного контроля местонахождения на транспортной сети, наполнения и пунктов назначения всех транспортных средств; наличия на диспетчерском пункте ЭВМ, обрабатывающей всю поступающую информацию. Используя аппараты вызова, пассажиры набирают на остановочных пунктах посадки код остановочных пунктов назначения. Вызовы поступают на диспетчерский пункт и обрабатываются ЭВМ, которая формирует приказы взять новых пассажиров ближайшим автобусам или микроавтобусам, следующим в том же направлении.

Приведенный перечень не охватывает всех новых методов организации движения традиционных транспортных средств. Задача настоящего пособия заключается не в том, чтобы перечислить их все, а в том, чтобы показать, что организация движения традиционных транспортных средств, принятая в тех или других условиях, требует периодического анализа и критического пересмотра в целях усовершенствования и приведения в соответствие с меняющимися условиями и требованиями к транспортному обслуживанию пассажиров. Службы движения трамвайных, троллейбусных и автобусных хозяйств должны непрерывно и активно искать новые формы организации движения с учетом того, что при прочих равных условиях именно организация движения обеспечивает максимальную экономическую эффективность хозяйств МПТ. При неудовлетворительной системе организации движения ее нельзя получить даже при самой эффективной работе всех других служб транспортного хозяйства (службы подвижного состава, пути, энергохозяйства и т. д.).

В настоящее время еще не найдены и неизвестно будут ли найдены в перспективе принципиально новые системы организации движения ГМПТ. Совершенствование работы ГМПТ идет в настоящее время по пути сокращения отдельных составляющих трудности передвижений [см. (3.30, § 3)]: затрат времени на пешеходный подход к остановочным пунктам МПТ — за счет повышения плотности транспортной сети и остановочных пунктов; времени ожидания транспорта — за счет повышения плотности движения; транспортного времени — за счет повышения скорости сообщения, снижения пересадочности и непрямолинейности пассажиропоездок. Наибольшие возможности в этом отношении могут предоставить системы непрерывного транспорта, большинство которых находится еще в стадии проектного поиска.

§ 15.2. Состав и задачи организации движения городского транспорта

Существующие методы прогнозирования и расчета пассажироперевозок, используемые при проектировании транспорта на стадиях генерального плана и комплексной транспортной схемы, благодаря неполноте и недостаточной точности исходных данных обеспечивают сравнительно низкую точность расчета. Погрешность обычного транспортного расчета пассажироперевозок методом взаимных корреспонденций транспортных районов составляет 15—20%, причем она растет по мере ограничения и конкретизации расчетной области так, что для отдельных транспортных линий и маршрутов может превысить 100%. Поэтому эта методика расчета не может использоваться для практической организации пассажироперевозок в действующих транспортных сетях, которая требует, таким образом, других, более точных методов расчета.

Комплекс расчетов и организационно-технических мероприятий, обеспечивающих выполнение пассажироперевозок (управление пассажироперевозками) в действующих транспортных сетях (хозяйствах) с максимальным качеством и экономической эффективностью транспортной работы, называют *организацией движения* (ОД) ГПТ.

Освоение пассажироперевозок является конечной целью и назначением ГПТ. Основная задача ОД ГПТ — это освоение пассажироперевозок с максимально высоким качеством при минимальных затратах. Для этого создается и соответственно оборудуется транспортная сеть и маршрутная система МПТ, приобретается необходимый подвижной состав, сооружаются устройства системы энергоснабжения, депо, ремонтные мастерские и заводы для хранения, технического обслуживания и ремонта подвижного состава, создаются при городских исполкомах управления пассажирского транспорта (УПТ), трамвайно-троллейбусные управления (ТТУ), автобусные управления, троллейбусные управления и т. д. Все службы транспортного хозяйства работают в конечном счете на обеспечение пассажироперевозок.

В задачи ОД ГМПТ входит изучение запросов на пассажироперевозки, планирование движения (обеспечение пассажироперевозок подвижным составом), организации выпуска и линейной работы подвижного состава в соответствии с намеченным планом, контроль соответствия фактических пассажироперевозок и условий движения принятым в планах и корректирование планов движения при отклонениях запросов на пассажироперевозки или условий движения от заложенных в плане. Комплекс задач ОД образует динамическую многофакторную систему со сложными связями, проявляющимися в большинстве случаев в виде статистических закономерностей. Поэтому изучение движения и ОД требуют системного подхода, так как изолированное решение ее отдельных проблем неизбежно дает ограниченный эффект.

Как и всякая задача управления, ОД ГПТ предполагает наличие объекта управления (им является подвижной состав), управляющей системы (ее образует служба движения УПТ, ТТУ, автобусного, трамвайного или троллейбусного управления, управления метрополитена и линейные работники движения) и потоков необходимой информации между ними.

Управляющая система передает на объект управления *управляющие команды*, например поездные и маршрутные расписания движения, а в виде обратной связи получает сообщения с объекта управления о выполнении плана движения, отклонениях исполненного движения от заданного, причинах этих отклонений, изменениях запросов на пассажироперевозки относительно заложенных в план движения, перерабатывает все эти материалы и выдает на объект управления указания по восстановлению нарушенного движения или его регулированию. Основной особенностью ОД МПТ являются технические трудности передачи информации между управляющей системой (центральным диспетчерским пунктом службы движения — ЦДП) и перемещающимися объектами управления — подвижным составом. Система передачи информации должна быть надежной, сравнительно дешевой, не создавать помех радиовещанию и телевидению. В настоящее время системы ГМПТ часто работают в режиме недостатка информации и недостаточной оперативности связи между ЦДП и поездами, что значительно осложняет оперативное решение задач ОД и снижает эксплуатационные показатели их работы.

Комплекс задач ОД не одинаков для ГПТ разного назначения и разных систем ОД ГПТ. Прежде всего существенно отличаются друг от друга принципы построения ОД ИПТ и МПТ (рис. 15.1).

ОД ИПТ построена по принципу регулирования транспортного потока, который в ряде случаев разделяют для повышения однородности по классам транспортных средств и магистралям (легковое и грузовое движение), направлениям движения (прямое и обратное, прямое, правоповоротное, левоповоротное), но при этом не различают и не прослеживают движение отдельных составляющих его транспортных единиц (поездов). Уровни ОД ИПТ определяются в основном объемами и напряженностью движения. В большинстве случаев ограничиваются ОД на перекрестках и магистралях, но при напряженном движении обеспечиваемая при этом пропускная способность, а также уровни надежности

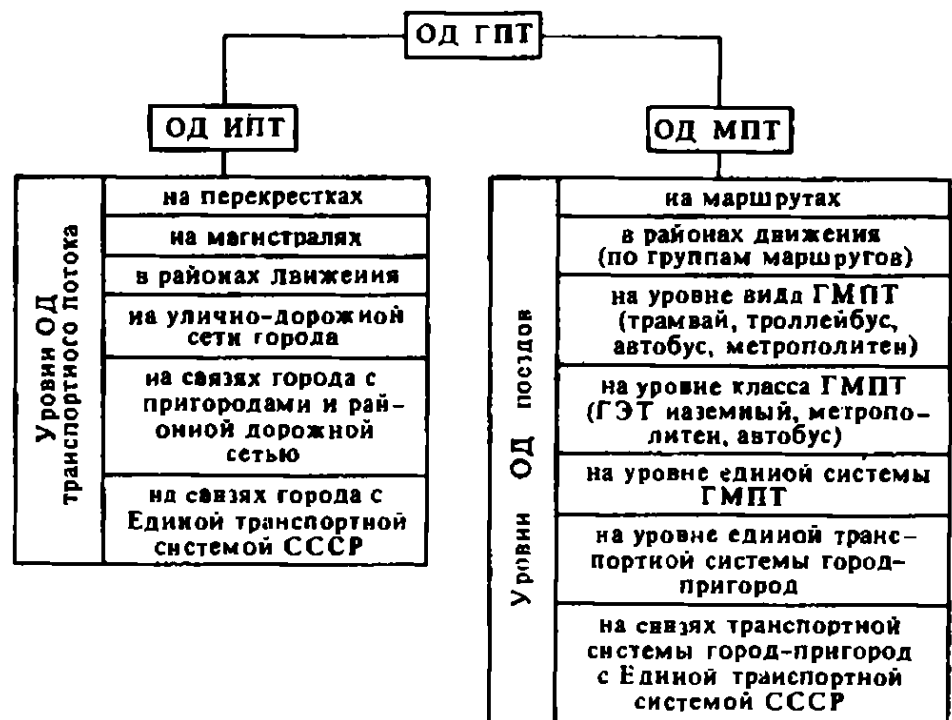


Рис. 15.1

Классификация и уровни систем ОД ГПТ

и безопасности движения оказываются недостаточными. Тогда вводятся дополнительные, более высокие, уровни ОД: координированное управление движением в транспортных районах, по улично-дорожной сети города в целом, на связях города с пригородами и районной дорожной сетью (мероприятия по передаче транзитных транспортных потоков на направления в обход городских центров), на связях города с Единой транспортной системой СССР — аэропортами, железнодорожными вокзалами, морскими и речными портами.

ОД ГМПТ строят по нерархическому принципу (по уровням управления), на каждом из которых решают свои задачи, но в этом случае объектом управления является не безликий транспортный поток, а каждый из составляющих его поездов, движение которых организуется по расписанию, т. е. строго регламентировано во времени. Нижний уровень ОД ГМПТ — организация движения поездов на маршрутах. Более высокие уровни ОД ГМПТ — ОД в районах движения (по группам маршрутов одного вида МПТ), на уровне вида ГМПТ (трамвай, троллейбус, метрополитен), на уровне класса ГМПТ (наземный ГЭТ — трамвай, троллейбус; подземный ГЭТ — метрополитен), на уровне системы ГМПТ в целом, на уровне транспортной системы город — пригород и, наконец, на связях транспортной системы город — пригород с Единой транспортной системой страны. Каждому из этих уровней ОД присущи свои задачи и принципы их решения.

Комплекс задач ОД делится на две группы (рис. 15.2): планирования движения (ПД) и оперативного контроля и регулирования движения (КРД). Их состав и соотношение зависят от системы ОД, определяющей разрыв между ПД и КРД во времени. По этому признаку различают системы ОД обычного маршрутного МПТ, для которых характерен большой разрыв Δt во времени между планированием и исполнением плана движения (обычно планирование движения осуществляется с опережением примерно на месяц), ОД по системе заказа поездки с разрывом планирования и исполнения движения примерно на 1 ч, и ОД по запросам на пассажироперевозки (по вызовам), при которой поезда

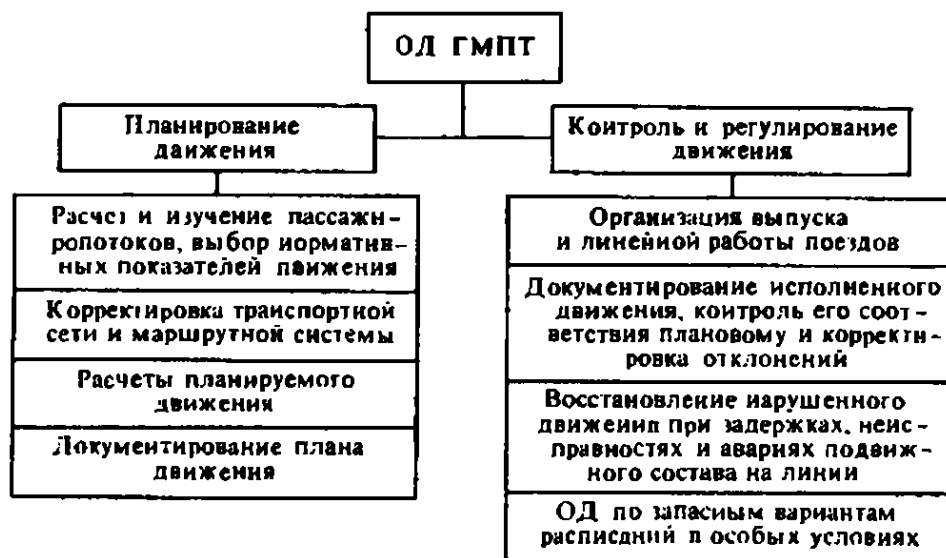


Рис. 15.2

подаются в места затребования непосредственно по запросам — вызовам (системы РРТ и им аналогичные). Естественно, что состав и задачи ПД и КРД в этих системах ОД существенно различны. Система ОД обычного маршрутного МПТ основана на ПД, базирующимся на прогнозируемые пассажироперевозки, которые всегда и неизбежно отличаются от соответствующих фактических. Для нее характерна плановая подача (выпуск) подвижного состава на линию независимо от фактических запросов на пассажироперевозки, отсутствие обратных связей с фактическими запросами на пассажироперевозки, которые предназначена восполнить система КРД. Однако любая система КРД работает с определенной инерцией и неспособна обеспечить полное соответствие между фактическими запросами на пассажироперевозки их обеспечением пассажирскими местами в подвижном составе. Следствием является неполное использование подвижного состава по вместимости или ухудшение качественных характеристик транспортного обслуживания городского населения: переполнение подвижного состава, снижение комфортабельности проезда, рост транспортной утомляемости и народнохозяйственных потерь, связанных со снижением производительности труда трудящихся.

Система заказа поездки, в отличие от обычного маршрутного МПТ, ориентирована на освоение не прогнозируемых пассажироперевозок, а фактических, сформированных заказами. Иначе говоря, для нее характерны тесные обратные связи с пассажироперевозками: подвижной состав подается в этом случае на маршруты в полном соответствии с поступившими заказами, причем последние определяют выбор времени и маршрута движения. Уровень использования подвижного состава по наполнению при ОД по системе заказа поездки неизбежно выше при более высоком уровне предоставляемого пассажирам комфорта. Однако крупным недостатком системы заказа поездки является сравнительно большой разрыв между заказом поездки и ее обеспечением, находящийся на уровне до 1 ч. По этому признаку она аналогична заказу такси на дом.

Наконец, система ОД по вызовам, как и система заказа поездки, ориентирована на обеспечение фактических запросов на пассажироперевозки, но в отличие от нее обеспечивает их с разрывом во времени, исчисляемом только минутами и равном затратам времени на передвижение поезда, назначенного для удовлетворения запроса, от места нахождения в момент вызова до станции вызова. Планирования движения как такового в этой системе нет. Его заменяет прогнозирование ожидаемых пассажироперевозок на стадии проектирования системы и оперативное принятие решений о выдаче поездов к пунктам вызова, которое возлагается на диспетчерский аппарат или ЭВМ. При использовании ЭВМ она производит одновременно выбор маршрута следования и ведение поезда на нем по программе, заложенной в памяти, или результатам логической оценки фактической транспортной ситуации на путях следования между станциями отправления и назначения. Для системы ОД по вызовам характерна максимально тесная связь запросов на пассажироперевозки с их фактическим обеспечением и максимально высокое качество пассажироперевозок.

Практическим решением задач ОД обычного маршрутного ГМПТ занимаются службы движения УПТ, ТТУ, трамвайных, троллейбусных и автобусных управлений. Они организуют постояннодействующую систему обследований пассажироперевозок и условий движения на маршрутах, расчеты расписаний движения и нарядов поездов, контроль фактического движения на маршрутах и его оперативное регулирование при отклонениях от расписания и изменениях транспортной ситуации или запросов на пассажироперевозки, составление отчетных данных о выполненном движении. Обычные системы ОД маршрутного ГМПТ характеризуются сравнительно высокой трудоемкостью и небольшими возможностями оперативного регулирования движения. Поэтому современным направлением их развития является создание автоматизированных систем управления движением (АСУД). Внедрение для решения задач ОД автоматики и вычислительной техники позволяет резко снизить уровень инерционности системы ОД, повысить ее быстродействие и на этой основе обеспечить рост качества при снижении себестоимости транспортной работы.

В соответствии с технологической схемой (рис. 15.2) планирование движения ПД начинается с натурных обследований и теоретических расчетов пассажироперевозок, которые дополняют и уточняют друг друга. По результатам этих обследований и расчетов составляют таблицы поездок и строят картограммы пассажиропотоков, изучают колебания пассажиропотоков по периодам движения с выделением часов пик, по участкам и направлениям с оценками их коэффициентами неравномерности, определяют среднюю длину поездки. Все эти данные являются исходным материалом для ПД. С их помощью уточняют маршрутную систему, распределяют ресурс подвижного состава по маршрутам, проверяют пассажирооборот остановочных пунктов. На основании тяговых расчетов и натурных обследований (хронометража) рейсового времени нормируют скорости движения на маршрутах и отдельных участках маршрутов, корректируют маршруты и размещение остановочных пунктов, распределяют подвижной состав маршрутов между депо (прикрепляют маршруты к депо). На этапе документирования плана движения по результатам его расчетов составляют наряд поездов и расписания движения, которые являются итогом ПД. Наряд поездов документирует прикрепление маршрутов к депо и выпуск подвижного состава на линию, а расписание движения — работу поездов, расписанную по минутам от момента выпуска из депо до момента возвращения в депо по окончании работы на линии.

Задачи и методы планирования движения определяются системами ОД, видами ГПТ, уровнем требований к ОД и экономической целесообразностью использования быстродействующих машинных методов расчета.

Основной задачей ПД, как и ОД в целом, является обеспечение максимально высокого качества пассажироперевозок при минимальной себестоимости. Качество пассажироперевозок оценивают регулярностью движения поездов, величиной маршрутного интервала, наполнением поездов, затратами времени населения в поездках, скоростью сообщения и комфортабельностью транспортного обслуживания. По-

вышение качественных показателей транспортного обслуживания приводит к росту себестоимости пассажироперевозок. Поэтому требование максимизации качественных показателей пассажироперевозок и минимизации их себестоимости противоречат друг другу. Если к тому же учесть нерегулируемые случайные колебания пассажиропотоков во времени и по длине транспортной сети, неизбежные задержки движения МПТ при работе в общем потоке уличного движения и т. д., то станет очевидным, что составление оптимального плана движения представляет собой весьма сложную задачу. План движения с одной стороны, должен быть достаточно напряженным, т. е. должен быть рассчитан на максимальный выпуск подвижного состава на линию, максимальное полезное использование продолжительности рабочей смены поездных бригад, реализацию максимальной скорости движения и т. д. Все это будет способствовать снижению себестоимости и повышению качества пассажироперевозок. Но, с другой стороны, в плане движения должны быть заложены достаточные резервы и по выпуску подвижного состава с учетом возможных замен поездов на линии, и по скорости движения с учетом необходимости запасов времени на нагон при различных сбоях движения и т. д.

Уровень требований к ПД существенно зависит от объема выполняемой транспортной работы, характера пассажироперевозок, интенсивности движения, видов МПТ и других факторов. Чем больше выполняемый объем транспортной работы, тем выше требования к плану движения, так как тем существеннее потери транспортного времени населения. Требования к плану трудовых пассажироперевозок по регулярности выше, чем для культурно-бытовых; выше требования к плану движения скоростных видов МПТ по сравнению с вспомогательными и т. д.

Соответственно уровню требований к тому или другому виду МПТ меняются требования к методике ПД, которая должна быть согласована с требованиями к плану по показателям надежности, регулярности и т. д.

Г л а в а 16 ОБСЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЙ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

§ 16.1. Методы обследования пассажироперевозок

Расчетные пассажироперевозки определяют требующуюся мощность каждого транспортного предприятия: количество и типы необходимого для них подвижного состава, количество и размеры депо и ремонтных баз подвижного состава, мощность системы энергоснабжения и т. д. Мощность транспортных предприятий находится в прямой зависимости от объема осваиваемых ими пассажироперевозок. Но, с другой стороны, обилие факторов, влияющих на формирование транспортных связей, не дает возможности их точного и всестороннего расчета. Любая модель расчета базируется на ограниченном количе-

стве исходных данных и может дать поэтому лишь приблизительное представление об ожидаемых пассажироперевозках. Поэтому в действующих транспортных хозяйствах данные о пассажироперевозках, требующиеся для решения задач планирования и оперативного управления движением по критериям оптимизации транспортного процесса, получают методами натурного обследования в конкретных условиях места и времени. Такие обследования периодически проводят во всех действующих хозяйствах ГМПП для уточнения планов движения, перераспределения подвижного состава по маршрутам и часам суток, уточнения маршрутной системы, решения вопросов координации работы разных видов транспорта, составления планов развития транспортной сети и т. д.

Виды и методы обследований пассажироперевозок в действующих транспортных сетях классифицируют по характеру привлекаемой техники, длительности охватываемого периода времени, широте охвата транспортной сети и методике.

По характеру привлекаемой техники можно выделить следующие виды обследований пассажироперевозок:

- 1) активный непрерывный автоматический контроль;
- 2) автоматический контроль наполнения поездов;
- 3) глазомерные счетные методы;
- 4) опросные и анкетные методы.

1. Активный непрерывный автоматический контроль пассажироперевозок используется в автоматизированных транспортных системах типа РРТ, где он является активным элементом организации транспортного процесса. Основа системы непрерывного автоматического контроля пассажироперевозок — оперативная обработка запросов на пассажироперевозки, результаты которой определяют алгоритмы поведения всех звеньев транспортного хозяйства: выдачу подвижного состава на линию к станциям вызова, организацию движения на линии, работу депо и системы электроснабжения. Активный непрерывный автоматический контроль является высшей и наиболее совершенной формой контроля пассажироперевозок, но имеет пока ограниченное применение.

Несколько более простой его формой по сложности привлекаемой инженерной техники является организация формирования и контроля пассажироперевозок при ОД по запросам.

2. Автоматический контроль наполнения поездов — наиболее совершенный из многочисленной группы методов пассивной регистрации пассажиропотоков, не связанных непосредственно с их формированием, т. е. не воздействующих на формирование пассажиропотоков, а только регистрирующих их состояние. В последнее время этому виду контроля пассажиропотоков уделяют большое внимание, так как он позволяет получать данные о пассажиропотоках непрерывно, оперативно и с небольшими затратами.

Различают методы контроля наполнения путевыми и поездными датчиками.

Представителем первых является метод контроля наполнения поездов на критических (наиболее загруженных) перегонах и участках ТС

по принципу взвешивания поездов на ходу. Схема одного из автоматов этого типа показана на рис. 16.1, а. В рельсы или под дорожное покрытие уложены датчики давления (месдозы) D , включенные последовательно с вычислительным устройством $BУ$. На контрольном пункте $КП$ установлено устройство опознавания поездов в виде генератора высокочастотных сигналов $ГВЧ$, осветителя O и приемника отраженных сигналов $ПР$, а на поездах — кодированные отражатели света — катафоты K . В высокочастотных импульсах, посылаемых на катафоты поездов, закодирована информация, указывающая местонахождение $КП$, которая сохраняется и в отраженном сигнале, воспринимаемом приемником $ПР$. Кроме того, K дополняет ее информацией о номере маршрута, на котором работает поезд, и его типе. Эта информация, поступающая в $BУ$, определяет поиск в его памяти информации о tare поезда. Блок питания $БП$ обеспечивает питанием $ГВЧ$ и $BУ$.

Вычислительное устройство определяет вес пассажиров

$$G_{\text{пасс}} = G - G_{\text{т}} \text{ и } n_{\text{пасс}} = G_{\text{пасс}}/q, \quad (16.1)$$

где G — полный вес поезда с пассажирами; $G_{\text{т}}$ — вес тары поезда; $n_{\text{пасс}}$ — количество пассажиров в поезде; q — расчетный вес одного пассажира.

Датчики D расположены так, что фиксируют нагрузку, приходящуюся только на одну ось поезда. Поэтому в состав $BУ$ включен сумматор и реле времени, обеспечивающее задержку выдачи результатов счета с $BУ$ на центральный диспетчерский пункт $ЦДП$ так, чтобы на него не поступала неполная информация. Контрольный пункт $КП$ и весоизмерительное устройство связаны с $ЦДП$ проводным или радиоканалом связи.

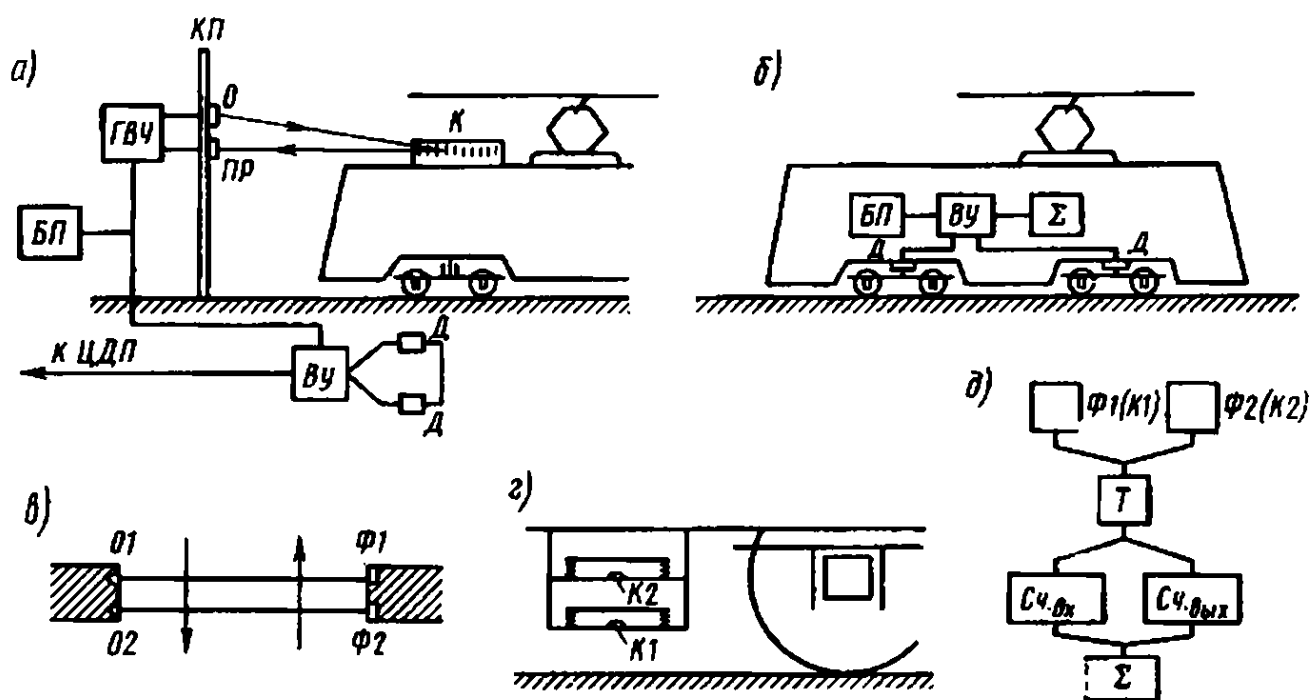


Рис. 16.1

Методы автоматического контроля наполнения поездов (схемы):

а — весового контроля путевыми датчиками; б — весового контроля поездными датчиками; в — фотоэлектрического контроля входящих и выходящих пассажиров; г — контактного контроля входящих и выходящих пассажиров

В качестве примера на рис. 16.2, *а* показана транспортная сеть с 15 весоизмерительными контрольными пунктами (на рисунке кружочками со стрелками, направление которых указывает контролируемые направления движения). Каждый такой *КП* выдает информацию о пропускаемом пассажиропотоке за часовые или еще более мелкие интервалы времени *T*. Распространяя эти показания на участки сети до следующего *КП*, как показано на рис. 16.2, *б*, можно построить картограммы пассажиропотоков по всей сети (рис. 16.2, *а*). Точность контроля возрастает с увеличением количества *КП*.

За период наблюдения *T* объем транспортной работы сети

$$Q(T) = \sum F_i l_i, \quad (16.2)$$

где *l_i* — длина участка, на который распространяется показание *i*-го *КП*.

На *ЦДП* могут быть установлены печатающие устройства, фиксирующие объемы транспортной работы всех участков сети. Объем пассажироперевозок *A(T)* сети в расчетный период наблюдения *T* непосредственно не фиксируется и может быть установлен лишь в случае, если известна (найденная другими обследованиями) средняя длина поездки *L_{ср}*:

$$A(T) = Q(T)/L_{ср}. \quad (16.3)$$

Поездные системы контроля наполнения поездов могут быть выполнены на основе датчиков давления, фотоэлектрических и др.

Весовая система контроля наполнения поездов датчиками давления показана на рис. 16.1, *б*. Ее активным элементом является группа датчиков давления *Д*, установленных в опорных узлах кузова так, что они регистрируют постоянную составляющую нагрузки, передаваемой ку-

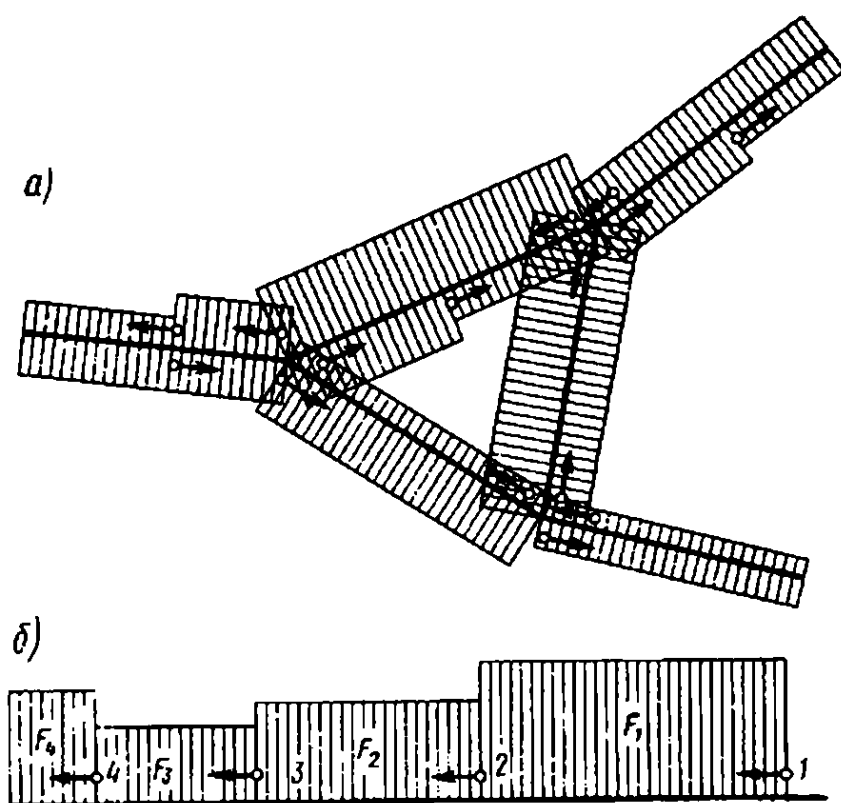


Рис. 16.2

Пример установки весоизмерительных контрольных пунктов на транспортной сети (*а*) и одном из ее направлений (*б*)

зовом на систему подвешивания вагона — шкворневые балки тележек или буксы. Информация датчиков D обрабатывается в вычислительном устройстве BV и накапливается в сумматоре Σ . Вся эта аппаратура установлена на поезде. Ее показания снимают в конце смены или работы поезда на линии и используют для расчетов объема выполненной транспортной работы.

Регистраторы поезда фиксируют данные о наполнении по расчетным промежуткам времени T на основе вычислений:

$$\Delta G/q = n_{\text{пасс}}, \quad n_{\text{пасс}}(T) = (1/T) \sum_{\Delta t}^T n_{\text{пасс}}(\Delta t); \quad \sum \Delta t = T, \quad (16.4)$$

где ΔG — фиксируемая в расчетном периоде T дополнительная нагрузка датчиков давления от веса пассажиров; q — расчетный вес одного пассажира; $n_{\text{пасс}}(T)$ — среднее наполнение поезда пассажирами за период T ; Δt — отрезок времени внутри периода T , в течение которого пассажирская нагрузка $n_{\text{пасс}}(\Delta t)$ остается неизменной.

На основании данных о наполнении определяется объем транспортной работы в период T :

$$Q(T) = \sum_{\Delta t}^T n_{\text{пасс}}(\Delta t) v_c \Delta t \quad \text{или} \quad Q(T) = n_{\text{пасс}}(T) T v_c, \quad (16.5)$$

где v_c — скорость сообщения и v — эксплуатационная скорость движения поездов на маршрутах.

В этом случае, как и при весовом контроле наполнения на стационарных $KП$, объем пассажироперевозок $A(T)$ сети в расчетном промежутке T непосредственно не фиксируется и может быть установлен лишь в случае, если известна (найденная другими обследованиями) средняя длина поездки $L_{\text{ср}}$ [по формуле (16.3)].

Второй группой поездных систем контроля наполнения поездов являются системы счета входящих и выходящих пассажиров на остановочных пунктах, которые могут быть построены на основе фотоэлектрических датчиков или выключателей, как показано на рис. 16.1, в, г.

Фотоэлектрические датчики $\Phi 1$ и $\Phi 2$ (рис. 16.1, в) вместе с осветителями $O1$ и $O2$ должны устанавливаться в проемах всех дверей для входа и выхода пассажиров так, чтобы входящий пассажир прерывал световой поток сначала первого датчика, затем второго, а выходящий — наоборот, сначала второго, а затем первого. Аналогично устанавливают и выключатели $K1$ и $K2$ на ступеньках входных и выходных дверей (рис. 16.1, г). Схема счета пассажиров, используемая в этих системах контроля наполнения, показана на рис. 16.1, д. В зависимости от последовательности срабатывания датчиков $\Phi 1$ и $\Phi 2$ или $K1$ и $K2$ переключатель T (триггер) посылает поступающий сигнал или в счетчик входящих пассажиров $Сч.вх$ или в счетчик выходящих пассажиров $Сч.вых$. Сумматор Σ производит накопление этих данных и их обработку.

Суммарная информация о вошедших в поезд $A_{\text{в}}$ и сошедших с поезда $A_{\text{с}}$ пассажирах позволяет определить объем пассажироперевозок в расчетный период наблюдения T , пассажирооборот, наполнение поез-

Общий недостаток всех поездных систем контроля наполнения поездов — их более высокая стоимость по сравнению с путевыми. Поэтому наиболее перспективными следует считать путевые системы контроля наполнения поездов.

В настоящее время различные путевые и поездные системы автоматического контроля наполнения находятся в стадии испытаний и до стадии серийного выпуска еще не доведены.

3. Глазомерными счетными методами называют методы непосредственного глазомерного подсчета пассажиров в проходящих поездах или совершающих посадку-высадку в поездах на остановочных пунктах. Основной характерной особенностью этих методов является ручной сбор информации о пассажироперевозках с последующей ручной или машинной обработкой результатов обследований. Все они характеризуются трудоемкой стадией сбора информации и требуют привлечения к обследованиям большого количества счетчиков, но тем не менее являются в настоящее время основными методами натурного обследования пассажироперевозок. При ручной обработке результатов обследований глазомерные счетные методы отличаются низкой оперативностью, так как большая длительность стадии обработки информации о пассажиропотоках не дает возможности быстрого использования последней для оперативного воздействия на движение. Поэтому ручной сбор информации при глазомерных счетных методах обследования пассажироперевозок сочетают с машинной обработкой ее на машиносчетных станциях (МСС).

Основное достоинство машинной обработки первичной информации о пассажироперевозках — значительное снижение трудоемкости по сравнению с методами ручного счета и повышение оперативности в связи со сравнительно небольшими затратами времени на обработку результатов.

Принципиальным и неустранимым недостатком всех глазомерных счетных методов обследования пассажироперевозок является их неспособность оценки транспортной сети и маршрутной схемы по критерию трудности сообщения в целевых корреспонденциях населения и другим критериям оптимизации.

4. Опросными и анкетными называют методы обследования пассажироперевозок, основанные на заполнении специальных анкет-опросников, организуемые транспортными предприятиями среди населения по местам жительства или работы. В зависимости от состава вопросов опросными и анкетными методами можно получить данные для решения самых различных задач ОД, оптимизации маршрутной системы, развития транспортной сети и маршрутной системы и т. д. В последнее время эти методы обследования пассажироперевозок получают все большее распространение в СССР и за рубежом. Все они приспособляются для машинной обработки анкет и в этом случае обеспечивают высокую оперативность при сравнительно небольшой трудоемкости. При обследовании пассажироперевозок анкетным методом можно получить данные для расчетов таблиц поездок населения между транспортными районами, необходимых при решении задач оптимизации маршрутной системы города; распределение времени корреспонденций

по составляющим; зависимости коэффициентов пользования транспортом, МПТ и ИПТ от затрат времени на передвижение и других факторов; коэффициенты пересадочности; распределение запасов времени прибытия в районы назначения по различным целям, важные для расчетов пассажиропотоков трудовых корреспонденций в часы пик; среднюю длину передвижения и транспортных поездок; подвижность населения и распределение ее по целям и социальным группам населения.

Натурные обследования пассажироперевозок проводят сравнительно редко. Результаты их используют для оптимизации маршрутной системы, перераспределения подвижного состава между маршрутами и решения других ответственных задач *ОД*. Помимо этого в транспортных хозяйствах получают оперативную информацию о работе маршрутов по результатам анализа данных о проданных билетах или выручке. Возможности такого анализа определяются принятой системой тарифа (оплаты за проезд). При системе единого тарифа подсчет проданных билетов или выручки дает только самое общее представление об объеме пассажироперевозок, так как не учитывает поездки населения, пользующегося проездными билетами, и групп пассажиров, имеющих право бесплатного проезда (дети дошкольного возраста, инвалиды войны, работники транспортных предприятий). При системе участкового тарифа анализ данных о проданных билетах дает возможность получить сведения о пассажиропотоках по участкам сети и приближенные данные о средней длине поездки пассажиров.

Из-за сравнительной простоты и небольшой трудоемкости оперативный метод анализа пассажироперевозок используется в той или другой форме большинством транспортных предприятий. Однако в настоящее время все шире применяют систему бескассовой оплаты проезда, расширяется распространение абонементных месячных, сезонных и годовых проездных билетов, обсуждаются предложения об оплате проезда на ГПТ в общем порядке, установленном для оплаты коммунальных услуг. Внедрение всех этих мероприятий соответственно сужает возможности анализа пассажироперевозок по выручке.

По длительности охватываемого периода различают обследования систематические и разовые.

Систематические обследования проводят ежедневно в течение всего периода движения линейные работники службы движения: диспетчеры маршрутов, контролеры движения и др. Они базируются на наблюдениях за колебаниями пассажиропотоков и сборе небольшого объема данных. На основе систематических обследований оценивают распределение пассажиропотоков по маршрутам, соответствие выпуска подвижного состава пассажиропотокам, распределение пассажиропотоков по длине и направлениям маршрутов, по часам суток, дням недели, месяцам и сезонам года, оценивают правильность координации работы маршрутов и разных видов ГПТ; выбирают характерные точки сети, маршруты, районы движения, время года и часы суток для проведения разовых обследований. Систематические обследования рассматривают как метод накопления опыта и знаний, необходимых для выбора наиболее эффективных направлений и средств совершенствования маршрутной системы, уточнения планов движения и т. д.

Разовыми называют кратковременные обследования пассажироперевозок по той или другой программе, определяемой поставленными перед обследованием целями. Разовые обследования проводятся обычно специальной группой контролеров и предназначаются для получения документальных данных о пассажироперевозках, требующихся для решения вопросов оптимизации маршрутной системы, развития ТС, изменения системы ОД или других ответственных действий. Систематические и разовые обследования пассажироперевозок проводят обычно от начала и до конца движения в течение суток, а обработку полученных данных выполняют по часам дня и периодам движения с выделением часов «пик».

По широте охвата транспортной сети различают сплошные и выборочные обследования.

Сплошные обследования проводят одновременно по всей транспортной сети города. Они отличаются большой трудоемкостью и требуют привлечения большого количества контролеров, однако позволяют получить общую картину пассажироперевозок по всей сети и для всех видов транспорта. По результатам таких обследований решают коренные вопросы работы сети (вопросы развития сети МПТ, координации работы разных видов МПТ, координации работы МПТ города с автотранспортом, пригородным и внешним транспортом, изменений маршрутной системы и т. д.).

Выборочные обследования организуют по отдельным районам движения, конфликтным точкам или маршрутам для решения более мелких вопросов организации движения.

Выбор методов обследования пассажироперевозок определяется экономическими соображениями. Метод обследования должен соответствовать поставленным целям и задачам и обеспечивать получение нужных данных с минимальными затратами. Для решения сложных вопросов развития сети, связанных с большими капитальными затратами, нужно применять достаточно широкие обследования, всесторонне обосновывающие целесообразность и наиболее приемлемый вариант решения задачи. Для решения менее сложных вопросов оптимизации пассажироперевозок нужно использовать соответственно менее трудоемкие обследования, ограничивать их во времени и по охвату сети.

Большое значение имеет регулярность натурных обследований пассажироперевозок. Назревание потребности решения различных задач развития городских транспортных сетей в связи с развитием городов и совершенствованием принятой системы пассажироперевозок имеет определенную периодичность во времени, определяемую темпами научно-технического и социального развития страны в целом и конкретного города в частности.

Система натурных обследований пассажироперевозок должна соответствовать действующей в стране системе народнохозяйственного планирования. И наконец, она должна давать возможность исследования динамики пассажироперевозок во времени в связи с тем, что натурные обследования являются экспериментальной базой развития теории городских пассажирских перевозок.

В свете изложенного в настоящее время на большинстве предприятий ГМПТ организована постояннодействующая система сбора информации о пассажироперевозках, узаконившая координированное проведение комплекса транспортных обследований с определенной периодичностью и совместное использование результатов для решения задач ОД и прогнозирования потребностей транспортного обслуживания.

Структура постояннодействующей системы транспортных обследований, предложенной Государственным научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта (НИИАТ), показана на рис. 16.3 [11]. Наиболее фундаментальными по этой схеме являются базисные обследования, которые рекомендуется проводить с периодичностью $\Delta t = 10$ лет для изучения изменений расселения, подвижности и формирования передвижений городского населения. Они имеют целью изучение фундаментальных законов, управляющих формированием пассажирских связей. В промежутках между ними с периодичностью $\Delta t = 5$ лет должны проводиться корректирующие обследования расселения, пассажироперевозок и транспортно-социологические. Наконец, с периодичностью $\Delta t = 1$ год — оперативные обследования для решения текущих транспортно-эксплуатационных вопросов и корректировки матрицы трудовых поездок. Базисные обследования рекомендуется проводить анкетными методами и совмещать по возможности с переписями населения, корректирующие — анкетными и опросными или талонными, оперативные — талонными или глазомерными счетными.



Рис. 16.3

Постояннодействующая система сбора информации о передвижениях городского населения, предложенная НИИАТ

§ 16.2. Глазомерные счетные, табличный, талонный и анкетный методы обследования пассажироперевозок

К глазомерным счетным методам обследования пассажироперевозок относят методы регистрации: 1) наполнения поездов, 2) пассажирооборота (пассажирообмена) поездов на остановочных пунктах и 3) пассажирообмена внутри поездов. Обследование пассажироперевозок первыми двумя методами выполняется контролерами-счетчиками, находящимися вне поездов, третьим — контролерами-счетчиками в поездах. Глазомерные методы обследования пассажироперевозок позволяют определить наполнение подвижного состава по участкам сети, пассажирооборот остановочных пунктов, построить картограммы пассажиропотоков, дать оценку качества пассажироперевозок, регулярности движения и др.

Метод регистрации наполнения поездов сводится к ориентировочной оценке наполнения проходящих поездов по коэффициентам наполнения или прямому подсчету количества пассажиров в проходящих поездах. В зависимости от поставленных задач и целей обследование может быть сплошным по сети и выборочным по маршрутам или по характерным точкам сети. В первом случае оно дает более полные результаты, но требует большего количества счетчиков, которые располагают преимущественно в узлах ТС и, как исключение, в отдельных характерных точках перегонов между узлами у остановочных пунктов с большим пассажирооборотом. Задачу расположения счетчиков на ТС решают по критерию минимизации общего количества работников, требующегося для проведения обследования в заданном объеме и обеспечения их полной загрузки в пределах, обеспечивающих хорошее качество контроля движения. При интенсивном движении счетчиков ставят на каждое направление движения, при редком движении — одного счетчика на два направления. Счетчики записывают время прохождения поездов, номера маршрутов, поездов и количество пассажиров в поездах или оценивают коэффициент их наполнения по пятибалльной системе: 1 — пассажиры занимают не более половины мест для сидения; 2 — заняты все или большая часть мест для сидения; 3 — заняты все места для сидения и часть (10—15) пассажиров стоят, но вагон заполнен слабо; 4 — пассажиры стоят в вагоне и на площадках, но вагон заполнен еще не полностью; 5 — вагон заполнен полностью так, что на остановках остаются пассажиры, не имеющие возможности войти в него.

Метод регистрации наполнения поездов позволяет непосредственно оценить наполнение поездов, определить среднее наполнение и пассажиропотоки по участкам маршрутов и сети, подсчитать объем транспортной работы МПТ на маршрутах и сети. Обработка результатов наблюдений в этом случае та же, что и в системах автоматического контроля наполнения поездов путевыми датчиками. Картограмма пассажиропотоков строится, как показано на рис. 16.2.

Пассажиропоток на i -м участке за расчетный период наблюдения T

$$F_i = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^k m_{ik}, \quad (16.11)$$

где k — количество поездов, проходящих через наблюдаемое сечение

коэффициенты наполнения и среднее наполнение поездов пассажирами находят по (16.12). Полученные данные позволяют также оценить неравномерность наполнения поездов по вагонам и неравномерность посадки-высадки пассажиров по вагонам и дверям поезда.

Метод регистрации пассажирообмена внутри поездов заключается в подсчете количества вошедших в поезд и вышедших из поезда пассажиров счетчиками, находящимися внутри вагонов. На каждую дверь для входа и выхода пассажиров назначают по одному счетчику. По фиксируемым параметрам и методике обработки результатов наблюдений этот метод аналогичен системе автоматического контроля наполнения поездов поездными датчиками. В результате обработки материалов наблюдений определяют наполнение вагонов пассажирами на каждом перегоне по (16.7), объем транспортной работы в пассажиро-километрах по (16.9), объем пассажироперевозок по (16.6), среднюю длину поездок по (16.10).

По количеству занятых счетчиков метод регистрации пассажирообмена внутри поездов является наиболее трудоемким из всех глазомерных счетных методов и применяется поэтому сравнительно редко.

В настоящее время наиболее распространенные методы натурных обследований пассажиропотоков — табличный (опросный) и талоинный, отличающиеся более простой технологией сбора информации о движении по сравнению с глазомерными счетными методами, более высокой достоверностью ее и надежностью, а также возможностью обработки результатов обследований с использованием вычислительной техники.

Табличный метод обследования основан на опросе пассажиров в поездах в момент посадки о станции назначения. Данные опроса заносят в маршрутную таблицу связи (рис. 16.4). В таблице указывают номер поезда, номер его выхода и время отправления с конечной станции маршрута. Таблица разделена на клетки 1, 2, 3, ..., каждая из которых соответствует определенному остановочному пункту на маршруте. Каждая клетка в свою очередь разделена на несколько десятков малых клеток.

Счетчики с маршрутными таблицами связи располагаются в вагонах поезда у всех входных и выходных дверей. Они опрашивают входящих пассажиров о месте их выхода и в одну из малых клеток остановочного пункта выхода записывают номер остановочного пункта входа. Тем самым фиксируется количество вошедших пассажиров A_{vi} на всех остановочных пунктах i , длина маршрутных поездок $l_{пмi}$, может быть найден объем пассажироперевозок за расчетный период времени T как сумма пассажиров, вошедших в поезда за отрезок времени T :

$$A(T) = \sum_{v=1}^T \sum_{i=1}^k A_{vi}, \quad (16.15)$$

объем транспортной работы (сумма длин всех маршрутных поездок за период наблюдения T):

$$Q(T) = \sum_{v=1}^T \sum_{i=1}^k l_{пмi}, \quad (16.16)$$

средняя длина поездки (маршрутной) за период наблюдения T :

$$L_{м.ср} = Q(T)/A(T). \quad (16.17)$$

Кроме того, по тем же материалам могут быть найдены пассажиро-потоки на всех перегонах транспортной сети, наполнение поездов, пассажирооборот остановочных пунктов. Обработка маршрутных таблиц связи ведется на табуляционных суммирующих машинах МСС, а затем на ЭВМ для анализа и оптимизации по заданным программам (такое разделение этапов обработки материалов обследований связано с более высокой стоимостью машинного времени ЭВМ по сравнению с прочей счетной техникой).

Применение опросного метода, как и глазомерного счетного метода регистрации пассажирообмена внутри поездов, ограничено высокой

Выход № _____ Время отправления _____ Тролейбус № _____

Маршрутная таблица связи по участкам

0		7	14
1		8	15
2		9	16
3		10	17
4		11	18
5		12	19
6		13	20

Рис. 16.4

Пример маршрутной таблицы связи

трудоемкостью получения первичной информации, так как оба они требуют одинакового количества счетчиков.

Талонный метод обследования, подобно табличному, требует расположения счетчиков в поездах у всех входных и выходных дверей. Входящим пассажирам счетчик выдает талон, отмечая предварительно в нем номер остановочного пункта входа. При выходе пассажир отдает талон этому же или другому счетчику, который, принимая, отмечает в нем номер остановочного пункта выхода. На конечной станции маршрута талоны передаются станционному инструктору обследования в конверте, на котором указывают номер поезда, название конечной станции маршрута, время начала и окончания рейса. В результате обработки талонов на МСС с группировкой по маршрутам и направлениям маршрутов, по часам суток и периодам движения с выделением часов пик получают таблицы поездок пассажиров, данные о наполнении поездов по перегонам, пассажиропотоки, коэффициент неравномерности пассажиропотока по длине маршрутов и др.

В принципе талонный и табличный методы обследования пассажиропотоков равноценны, но предпочтительнее табличный, так как он связан с обработкой меньшего количества первичных документов (одна маршрутная таблица связи заменяет сотни талонов).

Анкетные методы обследования, в основу которых заложена анкета с рядом вопросов. На них опрашиваемое лицо должно дать правильные ответы. Форма анкеты, характер и количество содержащихся в ней вопросов определяются объемом и характером информации, которую хотят получить для решения тех или других транспортных задач. Однако во всех случаях анкета должна быть возможно более простой, а содержащиеся в ней вопросы предельно конкретными, позволяющими дать на них быстрый и однозначный ответ. Ясность анкеты является необходимым условием сведения к минимуму ошибок при ее заполнении, точности и достоверности получаемой от нее информации и сокращения времени на проведение обследований. В настоящее время анкетные методы обследований совмещаются с машинными методами обработки анкет. Снижение трудоемкости обследований и повышение скорости обработки получаемой информации приводит к расширению сферы применения анкетных методов не только для базисных, но и для оперативных обследований пассажироперевозок, где до недавнего времени применялись исключительно натурные методы обследований.

Технология обработки на ЭВМ заполненных анкет предусматривает необходимость шифровки ответов для последующего ввода в ЭВМ на обработку. Шифровка может производиться либо непосредственно при заполнении анкеты опрашиваемым лицом, либо специалистами-операторами на специальном этапе первичной обработки анкет. Первый способ предпочтительнее, так как способствует снижению трудоемкости и времени обработки анкет, но требует разработки простых кодов, сводящих к минимуму возможность ошибок при их заполнении. Полная автоматизация обработки анкет достигается при совмещении их со специальной перфокартой и использовании считывающего перфоратора ПС80-1, осуществляющего пробивку отверстий в перфокарте по нанесенным на ней отметкам карандашом.

На рис. 16.5 показан образец анкеты-перфокарты для обследований трудовых передвижений, разработанной в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. Она имеет простую форму, ответы на вопросы анкеты осуществляются самим опрашиваемым лицом зачернением карандашом скобок в соответствующих строках и столбцах. Благодаря совмещению анкеты с перфокартой, информация дается в ней уже в зашифрованном виде, не требующем специального кода. Единственное требование к опрашиваемому лицу состоит в аккуратности зачернения скобок и бережного обращения с анкетой, которую нельзя сгибать, сворачивать и повреждать. Анкета-перфокарта дает возможность получать большое количество разнообразных сведений. В частности, анкета, приведенная на рис. 16.5, позволяет получить:

1) таблицы корреспонденций между расчетными районами города, которые в данном случае определены номерами почтовых отделений. Это решение оригинально, так как исключает большой дополнительный труд по предварительному районированию города перед обследованием и повышает точность информации, так как каждый житель города знает номер своего отделения связи и подобное районирование для него вполне естественно;

2) зависимость коэффициента пользования транспортом от времени, затрачиваемого на передвижение;

3) распределение затрат времени на передвижение пешком и с использованием транспорта;

4) пересадочность;

5) распределение запасов времени при прибытии к местам работы, которое важно знать при расчетах пиковых нагрузок транспортной сети.

§ 16.3. Расчеты необходимого объема выборки при обследованиях пассажироперевозок

При всех методах обследования пассажироперевозок для уменьшения трудоемкости сбора необходимо максимально ограничивать объем получаемой первичной информации, обеспечивая в то же время достаточную степень достоверности и надежности получаемых результатов.

Категория населения	Возраст, лет	Пол	Время, затраченное на передвижение, мин		Количество пересадок	Почтовое отделение места жительства	
			пешком	на транспорте		Первая цифра номера	Вторая цифра номера
ИТР ()	до 20 ()	Муж ()	до 10 ()	до 10 ()	(0)	(0)	(0)
Рабочие ()	от 20 до 30 ()		от 10 до 20 ()	от 10 до 20 ()	(1)	(1)	(1)
Служащие ()	от 30 до 40 ()	Жен ()	от 20 до 30 ()	от 20 до 30 ()	(2)	(2)	(2)
	от 40 до 50 ()		от 30 до 40 ()	от 30 до 40 ()	(3)	(3)	(3)
Прочие ()	от 50 до 60 ()		от 40 до 50 ()	от 40 до 50 ()		(4)	(4)
	более 60 ()		от 50 до 60 ()	от 50 до 60 ()		(5)	(5)
			от 60 до 70 ()	от 60 до 70 ()		(6)	(6)
			от 70 до 80 ()	от 70 до 80 ()		(7)	(7)
			от 80 до 90 ()	от 80 до 90 ()		(8)	(8)
			90 и более ()	90 и более ()		(9)	(9)

Рис. 16.5

Анкета-перфокарта для обследования трудовых передвижений населения на предприятиях

При заданном объеме генеральной совокупности N (объеме, на который распространяются выводы обследования) и желаемой степени достоверности и надежности результатов обследования, определяемой его целями и задачами, объем выборки n , т. е. количества объектов, которые должны быть поставлены под наблюдение, определяют методами теории вероятностей и математической статистики по формуле

$$n = Nt^2P(1 - P)/[N\Delta^2 + t^2P(1 - P)], \quad (16.18)$$

где Δ — допустимая ошибка или допустимое отклонение выборочной средней от генеральной средней (ошибка, связанная с заменой генеральной совокупности выборочной). Обычно принимают $\Delta = 0,05$, т. е. ошибку в 5%; t — коэффициент надежности результата, являющийся аргументом интеграла вероятностей:

$$\Phi(t) = (2/\sqrt{2\pi}) \int_0^t e^{-t^2/2} dt \quad (16.19)$$

(величину коэффициента t определяют по таблицам интеграла вероятностей в зависимости от принятой ошибки Δ . При $\Delta = 0,05$ получаем $t = 2$); P — предполагаемая доля выборки n/N , требующаяся для получения результатов обследования на выборке с заданной надежностью t и ошибкой Δ по сравнению с обследованием на генеральной совокупности (величину P определяют в результате предварительных обследований пассажироперевозок на небольшой выборке). Обычно можно принимать $P = 0,25$.

При $P = 0,25$, допустимой ошибке $\Delta = 0,05$ и соответствующем ей коэффициенте надежности $t = 2$ по (16.18) можно получить следующий ряд величин выборки [39]:

N	300	500	1000	3000	5000	10000
n	76	95	117	140	144	146
n/N , %	25	19	12	5	3	1,5

Результаты этих расчетов показывают, что величина выборки непосредственно связана с объемом генеральной совокупности: чем больше генеральная совокупность, тем относительно меньшая по объему выборка нужна для получения результатов обследования с той же точностью и надежностью.

При глазомерных счетных, табличных и талонных методах обследования пассажироперевозок по (16.18) определяют количество поездов n , которое должно быть поставлено под наблюдение при N поездах в движении.

При анкетных методах транспортного обследования населения в районах проживания или работы по (16.18) определяют количество населения n , которое нужно обследовать с тем, чтобы результаты обследования можно было распространить на все население N с заданной долей достоверности.

Элемент случайности возникает вследствие несистемного отбора элементов генеральной совокупности в выборку.

Пусть, например, требуется обследовать связь промышленного комплекса с несколькими жилыми районами и среди них с районом i . Общее количество работающих в промышленном комплексе равно N , а связь с обследуемым жилым районом i имеет неизвестное, пока количество работающих N_i , составляющее $P_i = N_i / N$ — часть общего количества работающих в промышленном комплексе.

Для определения N_i из генеральной совокупности N в выборку будет взято n рабочих (без отбора, т. е. случайное количество n), из них в рассматриваемом жилом районе i будет проживать случайное количество n_i человек. Очевидно, что из-за случайности выборки $P_i = N_i / N \neq P'_i = n_i / n$.

Ошибка Δ представляет собой в рассматриваемом случае отношение $(P'_i - P_i) / P_i$. Она будет тем меньше, чем больше выборка и отношение n / N . При $n = N$ ошибка Δ была бы равна нулю.

Величина n_i во взятой выборке n определяется в результате натурного обследования точно, но, распространяя выводы обследования на совокупность N , т. е. определяя $N_i = N n_i / n$, величину N_i получаем с ошибкой Δ .

Глава 17

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТНЫХ СИСТЕМ ГМПТ

§ 17.1. Критерии выбора длины маршрутов ГМПТ

Длину маршрутов определяют как расстояние l_m между их конечными станциями — распределительной РС и технической ТС. Поэтому длина в однопутном исчислении обычного маятникового маршрута с совмещенными направлениями движения на уличных проездах равна

$$l_0 = 2l_m.$$

Длина кольцевых маршрутов с двусторонним движением равна длине кольца (по оси средней полосы). Длину маршрутов с разделенными направлениями обратного и прямого движения определяют условно как полусумму длин направлений.

Выбор длины маршрутов влияет на:

1) строительные затраты на сооружение оборотных колец и обслуживающих маршрут конечных станций РС и ТС. Чем больше длина маршрута, тем меньше эти затраты в расчете на 1 км длины транспортной сети;

2) эксплуатационные расходы по организации движения, основную часть которых составляет заработная плата обслуживающего маршрут линейного персонала. Чем маршрут длиннее, тем ниже эти расходы в расчете на 1 км длины маршрута;

3) регулярность движения (чем длиннее маршрут, тем вероятнее сбой движения вследствие действия различных мешающих факторов и ниже регулярность движения);

4) использование подвижного состава по вместимости (чем длиннее маршрут, тем выше коэффициент использования подвижного состава по вместимости и соответственно выше эксплуатационные показатели его работы).

Для пояснения сказанного рассмотрим два маршрута длиной l и $2l$ с одним и тем же пассажиропотоком F и интенсивностью нарастания по концам маршрутов (рис. 17.1). Использование подвижного состава по вместимости можно характеризовать коэффициентом заполнения картограммы пассажиропотоков $k_{3,k}$:

для короткого маршрута

$$(k_{з.к})_к = (Fl - 2Fl_1/2)/Fl = (l - l_1)/l;$$

для длинного маршрута

$$(k_{з.д})_д = (2l - l_1)/(2l).$$

Найдем отношение

$$(k_{з.д})_д / (k_{з.к})_к = (2l - l_1)/(2l - 2l_1) > 1.$$

Следовательно, $(k_{з.д})_д > (k_{з.к})_к$ и коэффициент использования подвижного состава по вместимости на длинном маршруте выше, чем на коротком;

5) организацию обслуживания маршрутов поездами и длину нулевых пробегов поездов. *Нулевым пробегом* называют сумму пробегов поездов между прикрепленными депо и точками маршрута, где начинается и кончается работа поездов на линии по расписанию. Во время нулевых пробегов поезда не совершают полезной транспортной работы. Если они перевозят пассажиров, то эти перевозки осуществляются за счет недонаполнения поездов, работающих на маршруте по расписанию. Чем длиннее маршрут, тем больше нулевые пробеги и меньше время полезной линейной работы поездных бригад. Для снижения нулевых пробегов, уменьшающих экономичность работы подвижного состава, длинные маршруты прикрепляют к двум депо, но это усложняет координацию выпуска подвижного состава из депо на линию;

6) режимы работы поездных бригад. Продолжительность работы поездных бригад на линии пропорциональна отрезку времени движения поездов между конечными станциями маршрутов — полурейсу. Чем длиннее маршрут, тем больше этот отрезок времени и тем сложнее уложить продолжительность рабочей смены поездных бригад в нормы, установленные трудовым законодательством.

Выбор длины маршрутов определяют конкретные особенности пассажироперевозок: расположение основных центров транспортного тяготения в плане города; распределение пассажиропотоков на транспортной сети и колебания их во времени, определяющие характер распределения нагрузок маршрутов по участкам и пассажирооборот остановочных пунктов (ОП). Чем интенсивнее пассажиропотоки, тем выше требования к регулярности движения и обычно короче маршруты.

В эксплуатационном отношении удобнее и экономически выгоднее короткие маршруты: на них проще организовать регулярное движение;

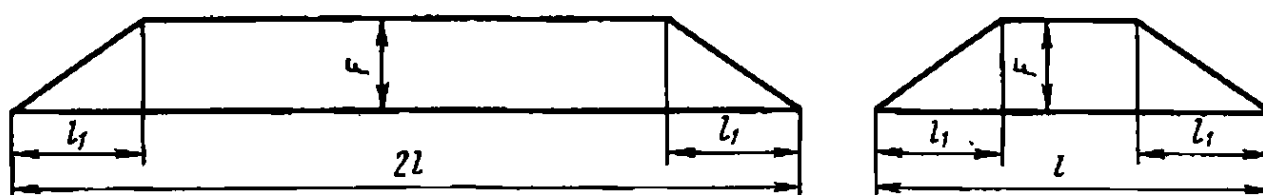


Рис. 17.1

при наличии в городе нескольких депо или парков короткие маршруты можно обслуживать подвижным составом целиком из ближайших депо, тогда как длинные маршруты по условию минимума нулевых пробегов требуют прикрепления к двум депо, работу которых приходится согласовывать; на коротких маршрутах проще регулировать продолжительность рабочей смены водителей.

Но короткие маршруты имеют и много недостатков — высокий коэффициент пересадочности; невысокий коэффициент использования подвижного состава по вместимости; низкую эксплуатационную скорость вследствие более высоких удельных потерь времени на конечных станциях. По этим причинам короткие маршруты организуют в некоторых специальных случаях:

а) для обслуживания пассажироперевозок между близко расположенными мощными пассажирообразующими пунктами, например крупной промышленной зоной и обслуживающей ее жилой зоной;

б) на отдельных перегруженных участках основных маршрутов для уменьшения их перегрузки (как средство отбора части пассажиропотока);

в) для обслуживания мощных временных пассажиропотоков, например между центром и стадионом, центром и аэропортом и т. д.;

г) для повышения или обеспечения заданной регулярности движения на направлениях мощных пассажиропотоков, когда транспорт работает на пределе пропускной способности.

Длинные маршруты более выгодны по использованию подвижного состава: обеспечивают высокую беспересадочность и эксплуатационную скорость; дают возможность уменьшить строительные затраты на сооружение конечных станций и эксплуатационные расходы по организации движения.

Оптимальная длина маршрутов должна выбираться с учетом получения требуемой регулярности и режима работы поездных бригад. С этих позиций оптимальной считают длину маршрутов, численно близкую (в километрах) эксплуатационной скорости (в километрах в час), т. е. для наземных видов ГПТ порядка 14—16 км. При такой длине время движения по маршруту от одной конечной станции до другой составляет около 1 ч и водители после часа работы получают минимальный 3—5-минутный отдых на конечной станции.

§ 17.2. Выбор длины перегонов на маршрутах из условия минимума затрат времени в передвижениях населения

Длина перегонов существенно влияет практически на все характеристики систем маршрутного ГПТ. С уменьшением длины перегонов уменьшаются затраты времени пассажиров на пешеходный подход к остановочным пунктам МПТ, но зато увеличивается транспортное время поездки вследствие уменьшения скорости сообщения. Поэтому выбор длины перегонов следует производить по критерию минимума общих затрат времени населения в передвижениях.

Общая трудность передвижений определяется по (3.31), где трудность $t_{тр}$ транспортного передвижения на маршруте можно выразить через длину перегона l_n , представив в виде суммы двух составляющих — затрат времени на движение по маршруту со средней скоростью v_x и стоянку на остановочных пунктах:

$$t_{тр} = L_{ср}/v_x + (L_{ср}/l_n - 1)t_{он}.$$

Первое слагаемое в этой формуле — затраты времени на движение по маршруту при средней скорости v_x на средней длине поездки $L_{ср}$, а второе слагаемое — время стоянки на остановочных пунктах; $L_{ср}/l_n - 1$ — количество остановочных пунктов в корреспонденции длиной $L_{ср}$; $t_{он}$ — время стоянки поезда на остановочном пункте, включая [см. (6.11)] $t_{од}$, $t_{пв}$ и $t_{зд}$:

$$t_{он} = t_{од} + t_{пв} + t_{зд}.$$

Учитывая также (3.38) и (3.46), получим:

$$t_n = 2t_{пеш}\epsilon_{пеш} + t_{ож}\epsilon_{ож} + t_{тр}\epsilon_{тр} = (1/3\delta + l_n/4) 2\epsilon_{пеш}K_{пп}K_{во}/v_{пеш} + + t_n\epsilon_{р}\epsilon_{ож}/2 + L_{ср}\epsilon_{тр}/v_x + (L_{ср}/l_n - 1) \cdot t_{он}\epsilon_{тр}. \quad (17.1)$$

Выражение (17.1) показывает, что длина перегона l_n влияет на время подхода пассажира к остановочному пункту и затраты времени на промежуточные остановки в транспортном передвижении. В неявном виде длина перегона влияет также на ходовую скорость v_x , среднее время стоянки поезда на остановочном пункте, среднюю длину поездки $L_{ср}$ и зависит от плотности транспортной сети.

Зависимость $v_x(l_n)$ может быть установлена тяговыми расчетами. С ростом l_n растет и v_x , приближаясь к предельному значению, равному установившейся скорости движения поезда на перегоне. Зависимость $t_{он}(l_n)$ определяется тем, что с ростом l_n увеличивается пассажирообмен остановочных пунктов. При увеличении l_n часть пассажиров, едущих на короткое расстояние, предпочтет пешее передвижение транспортному. Это определяет зависимость $L_{ср}(l_n)$, причем с ростом l_n возрастает и $L_{ср}$. Зависимость $t_n(l_n)$ определяется тем, что с ростом l_n возрастает скорость сообщения v_c , увеличивается оборачиваемость подвижного состава и (при том же количестве подвижного состава в движении) уменьшается t_n . С изменением длины перегона меняется характер пассажироперевозок и объем транспортной работы маршрута.

Таким образом, зависимость $t_n(l_n)$ получается сложной и многофакторной, в результате чего задача оптимизации длины перегона l_n не может быть в принципе решена изолированно от ряда других сопутствующих задач. В первом приближении, однако, зависимость $t_n(l_n)$ можно исследовать при $v_x = \text{const}$, $t_{он} = \text{const}$, $t_n = \text{const}$ и представить ее в виде

$$t_n = a + bl_n + c/l_n. \quad (17.2)$$

где $a = 2\epsilon_{пеш}k_{пп}k_{во}/(3v_{пеш}\delta) + t_n\epsilon_{р}\epsilon_{ож}/2 + L_{ср}\epsilon_{тр}/v_x - t_{он}\epsilon_{тр}$;
 $b = \epsilon_{пеш}k_{пп}k_{во}/(2v_{пеш})$; $c = t_{он}L_{ср}\epsilon_{тр}$.

Зависимость (17.2) изображена графически на рис. 17.2. Точка A минимума кривой $t_n(l_n)$ определяет величину оптимальной длины перегона $l_{n, \text{опт}}$. Приравнявая нулю первую производную от (17.2) по l_n , получим

$$l_{n, \text{опт}} = \sqrt{c/b} = \sqrt{2v_{\text{пеш}} t_{\text{оп}} L_{\text{ср}} \varepsilon_{\text{тр}} / (\varepsilon_{\text{пеш}} k_{\text{нп}} k_{\text{во}})}. \quad (17.3)$$

Таким образом, по (17.3) величина $l_{n, \text{опт}}$ определяется только скоростью $v_{\text{пеш}}$, временем $t_{\text{оп}}$, длиной поездки $L_{\text{ср}}$, а также коэффициентами $\varepsilon_{\text{пеш}}$, $\varepsilon_{\text{тр}}$, $k_{\text{нп}}$, $k_{\text{во}}$.

Пример. Принимая $v_{\text{пеш}} = 4$ км/ч (1.11 м/с), $t_{\text{оп}} = 20$ с, $L_{\text{ср}} = 3$ км, $\varepsilon_{\text{пеш}} = 1.5$, $\varepsilon_{\text{тр}} = 1$, $k_{\text{нп}} = 1.2$ и $k_{\text{во}} = 1.3$, получим

$$l_{n, \text{опт}} = \sqrt{2v_{\text{пеш}} t_{\text{оп}} L_{\text{ср}} \varepsilon_{\text{тр}} / (\varepsilon_{\text{пеш}} k_{\text{нп}} k_{\text{во}})} = \sqrt{2 \cdot 1.11 \cdot 20 \cdot 3000 / (1.5 \cdot 1.2 \cdot 1.3)} = 238 \text{ м.}$$

Практически средняя длина перегона колеблется на линиях наземного ГПТ от 250—500 м в районах многоэтажной застройки до 700—800 м в районах с небольшой плотностью населения.

§ 17.3. Принципы размещения остановочных пунктов на маршрутах ГМПТ

При размещении остановочных пунктов (ОП) нужно учитывать:

1) максимальное использование ОП по пассажирообороту: остановочные пункты должны находиться в узлах пешеходных потоков, т. е. в первую очередь в узлах транспортного тяготения (у станций метрополитена, вокзалов, торговых центров, перекрестков транспортных магистралей, проходных заводов и фабрик, рынков и т. д.) и лишь в тех случаях, когда длина кварталов городской застройки больше расчетной длины перегонов — между перекрестками;

2) безопасность дорожного движения: размещение ОП должно обеспечивать максимум безопасности перехода улиц и посадки-высадки пассажиров с учетом безопасных направлений обхода транспорта, которые должны совпадать с направлениями минимальных путей перехода пассажиров при пересадках;

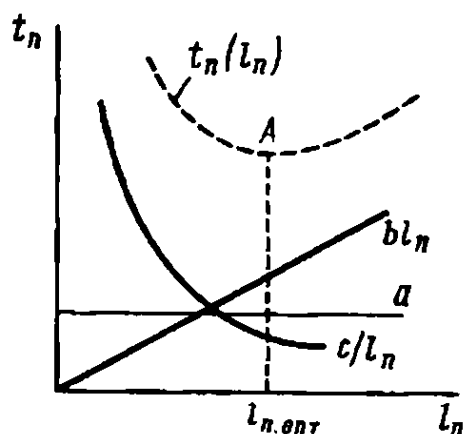


Рис. 17.2

Зависимость приведенных затрат времени на передвижение t_n от средней длины перегонов на маршрутах l_n

3) минимум трудности сообщения: размещение ОП должно обеспечивать минимальные пути перехода пассажиров при пересадках, особенно в направлении главных пассажиропотоков;

4) минимальное мешающее влияние МПТ на автотранспорт и наоборот; размещение остановочных пунктов МПТ должно обеспечивать минимальное снижение пропускной способности лимитирующих точек городской транспортной сети и минимальные потери времени в точках светофорного регулирования и ограничений ПДД.

Безопасные направления обхода стоящих поездов определяются условиями видимости встречного транспорта. Исходя из условий видимости встречного транспорта, троллейбусы и автобусы принято обходить сзади, а трамвайные вагоны спереди, как показано на рис. 17.3, а сплошными линиями (здесь 1 — линия застройки, 2 — тротуар; 3 — проезжая часть, 4 — трамвайный поезд, 5 — автомобиль, 6 — автобус или троллейбус). Пунктирными линиями на рис. 17.3, а показаны неправильные направления обхода МПТ: обход автобуса или троллейбуса спереди недопустим, так как они закрывают видимость попутного транспорта и создают опасность попадания пешеходов под колеса при трогании. Обход трамвайного поезда сзади закрывает видимость встречного поезда. Опасные ситуации, возникающие при неправильном направлении обхода поездов МПТ (точки возможного наезда транспорта на пешеходов), показаны на рис. 17.3, а крестиками.

Размещение остановочных пунктов МПТ должно создавать возможность кратчайшего движения пешеходов на магистралях по переходам в направлениях, совпадающих с направлениями принятого безопасного обхода стоящего МПТ. Схему рис. 17.3, а считают классической схемой размещения ОП трамвая и троллейбуса на магистралях по требованиям безопасности движения: ОП трамвая нужно размещать и при наличии, и при отсутствии пешеходного перехода встречно с зазором 5—7 м между передними площадками, а ОП троллейбуса и автобуса — внахлест с зазором 10—15 м при широких и 20—25 м при узких улицах, не имеющих разделительной полосы. Промежуток в 20—25 м необходим в этом случае для обеспечения возможности обгона стоящих на остановках троллейбусов и автобусов прочим транспортом. Более ши-

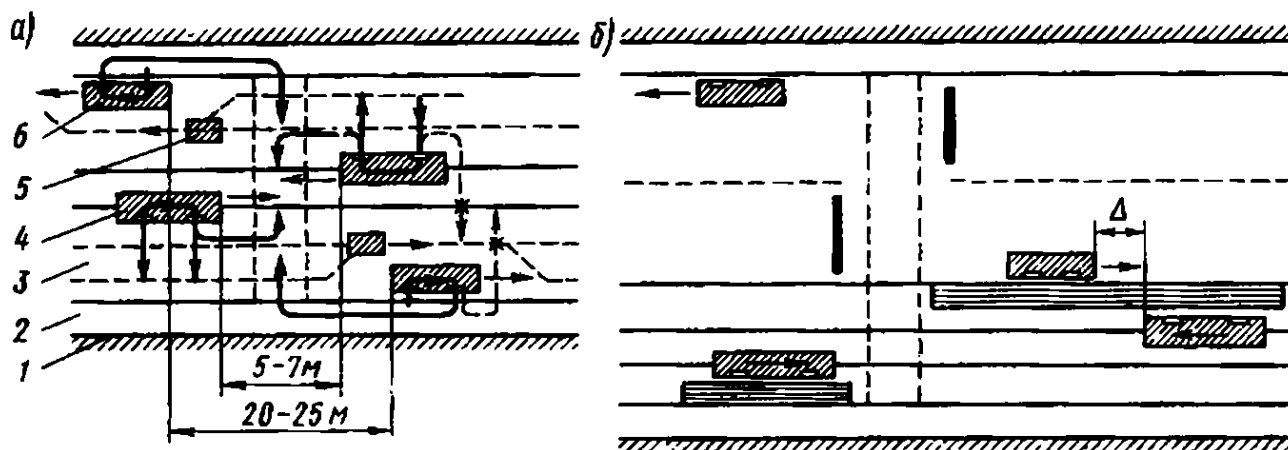


Рис. 17.3

рокая раздвижка ОП троллейбусов и автобусов не рекомендуется, поскольку образует слишком широкую полосу для перехода пешеходов с одной стороны улицы на другую, что нежелательно по условиям безопасности.

При размещении путей на обособленном полотне по одну сторону проезда (рис. 17.3, б) ОП трамвая располагают встречно. Особенность состоит только в необходимости учета размещения ОП встречного МПТ, работающего на магистрали. Их располагают рядом, с зазором Δ , что обеспечивает безопасные условия посадки и высадки для пассажиров всех видов МПТ.

На перекрестках ОП трамвая по возможности располагают непосредственно у стоп-линии до перекрестка, а ОП автобуса и троллейбуса — внахлест за перекрестком на расстоянии 20—25 м от пешеходного перехода. Такое расположение ОП обеспечивает обход транспорта по безопасным направлениям (трамвайных поездов — спереди, автобусов и троллейбусов — сзади) и приемлемые потери времени на пешеходные переходы при пересадках. Достоинство этой схемы размещения ОП состоит также в том, что она обеспечивает минимальное мешающее влияние троллейбуса и автобуса на автотранспорт, меньшие потери времени у светофоров и более высокую скорость сообщения.

Практически, однако, классические схемы размещения ОП на магистралях и перекрестках не всегда применимы, так как приходится считаться с целым рядом дополнительных условий и ограничений, заставляющих отходить от этих схем. Нельзя, например, размещать ОП на уклонах и подъемах более $30^0/_{\infty}$, на узких тротуарах, поперек дворовых выездов, напротив жилых зданий, у подъездов крупных учреждений и предприятий. При расположении ОП у перекрестков нужно учитывать

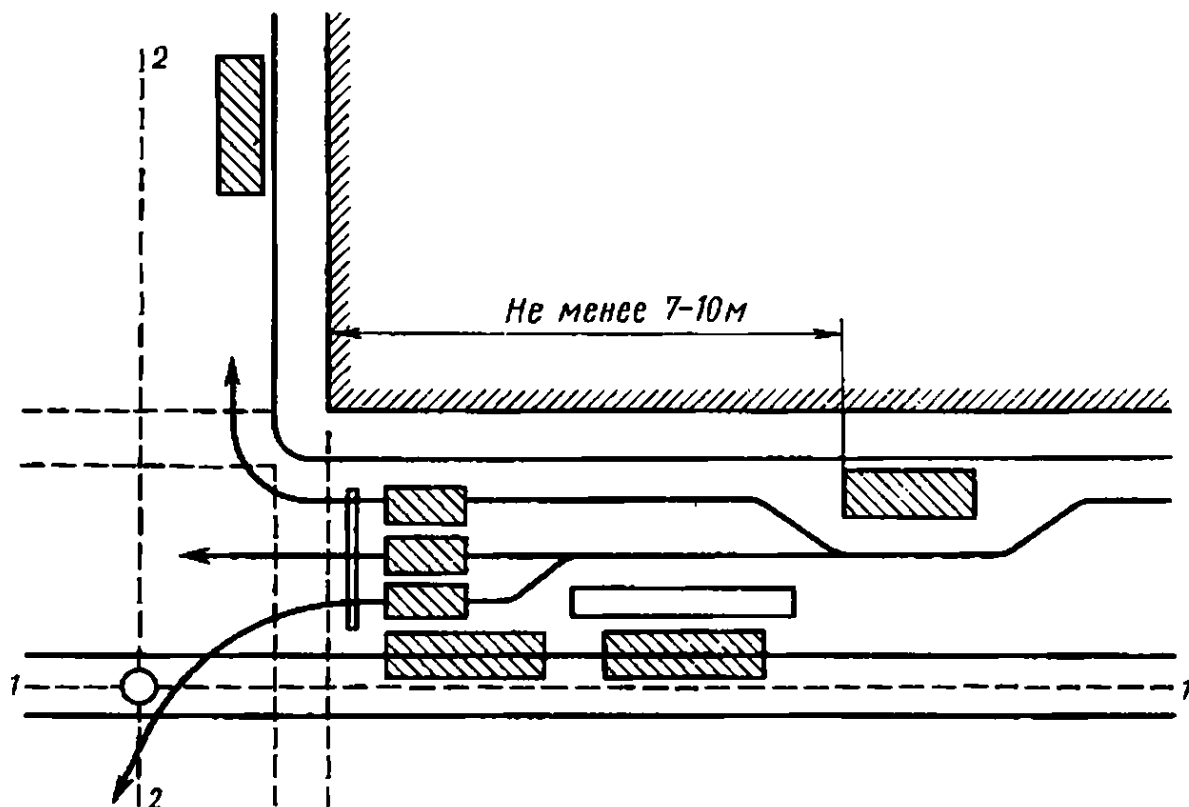


Рис. 17.4

ширину проездов, направления главных пассажиропотоков, интенсивность движения по направлениям, пропускную способность и т. д. В случае недостаточной пропускной способности остановочного пункта или перекрестка ОП трамвая приходится относить в глубину проезда (см. рис. 6.9). Аналогично при интенсивном движении приходится размещать в глубине проездов и ОП троллейбусов и автобусов, мирясь при этом с неизбежным увеличением затрат времени пассажиров на пешеходные переходы.

Расположение ОП у перекрестков должно обеспечивать минимальные и безопасные пешеходные переходы пассажиров в направлениях главных пассажиропотоков. Если, например, основной пассажиропоток на перекрестке идет в направлении правого поворота 1—2 (рис. 17.4), то ОП автобуса и троллейбуса на проезде 1—1 целесообразно расположить не за перекрестком, как того требует классическая схема, а до него, так как это исключает необходимость пассажирам при переходе на пересадку пересекать улицу. Это решение оправданно даже в случае, когда оно требует отнесения ОП автобуса и троллейбуса в глубину проезда, чтобы они не мешали пассажирообмену трамвайного ОП и перестройке автотранспорта в ряды при движении направо, прямо и налево. Такое же расположение ОП троллейбуса и автобуса может быть рекомендовано при расположении до перекрестка основных пассажирообразующих пунктов, когда вывод ОП за перекресток приводит к удлинению пути пешеходного движения и нежелательного пересечения им улицы. При расположении до перекрестка ОП троллейбуса и автобуса должен быть отнесен не менее чем на 7—10 м от пешеходного перехода с тем, чтобы стоящая на остановке машина не закрывала пешеходам обзор объезжающего ее транспорта.

На крупных площадях и узлах с большим пассажирообменом ОП целесообразно ставить и до и после перекрестка на каждом направлении. Это дает возможность сократить время стоянки транспорта на остановках, пути подхода пассажиров к ним и потоки пешеходов через перекресток.

На направлениях с интенсивным движением при развитых в глубину проездов двойных и тройных ОП ближе к перекрестку нужно размещать посадочные площадки маршрутов, конечные пункты которых расположены ближе к перекрестку, а дальше от перекрестка — посадочные площадки маршрутов, конечные пункты которых расположены дальше от перекрестка. Это способствует выравниванию картограмм пассажиропотоков по длине маршрутов, в особенности на их концевых частях. Аналогичный прием выравнивания пассажиропотоков маршрутов можно применять и в других случаях, в частности на средних частях маршрутов.

§ 17.4. Принципы регулирования распределения пассажиропотока по длине маршрутов ГМТТ

Распределение пассажиропотоков по длине маршрутов характеризуется коэффициентом заполнения картограммы пассажиропотока $k_{з.к.}$, который определяют как отношение площади расчетной картограммы

пассажиропотоков к площади соответствующей полной картограммы (см. § 3.5). Чем ближе этот коэффициент к единице, т. е. чем равномернее распределение пассажиропотока по длине маршрута, тем выше использование подвижного состава по вместимости и качество транспортного обслуживания пассажиров. Поэтому маршрутная система должна обеспечивать возможно более равномерное распределение пассажиропотоков по маршрутам и их саморегулирование (самовыравнивание) при колебаниях во времени по часам суток, дням недели и сезонам.

Методами распределения пассажиропотоков по маршрутам городской транспортной сети являются: изменение расположения и длины маршрутов, совмещение маршрутов на части длины или их разделение, сочетание маршрутов разных типов (обычных с экспрессными, постоянных с временными и т. д.), изменение расположения остановочных пунктов разных маршрутов относительно перекрестков и других мест массового пассажирообмена, регулирование маршрутных интервалов между поездами.

Различают два класса задач распределения пассажиропотоков по маршрутам. К первому классу относятся задачи регулирования изолированных пассажиропотоков на направлениях, где пассажирам не предоставляется возможность выбора маршрутов, кроме предусмотренного или предусмотренных маршрутной системой. Ко второму классу относятся задачи регулирования распределения пассажиропотоков на направлениях, где пассажиры имеют возможность выбора разных маршрутов.

Для решения задач первого класса достаточно знать только заданные пассажиропотоки. Задачи второго класса не могут решаться без предварительного изучения характера пассажиропотоков, центров их зарождения и погашения, оценки вероятности выбора пассажирами тех или других маршрутов.

Типовыми задачами распределения пассажиропотока по маршрутам являются задачи:

1) распределения по маршрутам мощных пассажиропотоков, не имеющих протяженных пиков, но характеризующихся низким коэффициентом заполнения картограммы;

2) распределения по маршрутам пассажиропотоков с протяженными пиками на части картограммы.

На направлениях с пассажиропотоком, не имеющим протяженных пиков и характеризующихся высоким коэффициентом заполнения картограммы, выбор маршрутов производится сравнительно просто. Он определяется только расположением пунктов транспортного тяготения и общими принципами оптимизации маршрутных систем. Участок разбивают по длине на маршруты преимущественно максимальной длины так, чтобы они были согласованы с расположением основных пунктов пассажирообмена и накладывались друг на друга в местах стыкования с тем, чтобы не создавать концентрации пассажирообмена на конечной станции.

В большинстве случаев при современных территориальных размерах городов транспортные сети ГПТ допускают стыкование не более двух маршрутов длиной 16—20 км.

Для пояснения принципов стыкования маршрутов рассмотрим пример. Пусть на участке сети длиной $l > l_{\text{м. макс}}$, где $l_{\text{м. макс}}$ — максимальная расчетная длина маршрутов, картограмма пассажиропотоков имеет вид, показанный на рис. 17.5, а, область основного пассажирообмена этого участка ограничена длиной l_0 (ею может быть участок жилого массива, городского центра и т. д.). Поскольку длина участка l превышает по величине $l_{\text{м. макс}}$, обслужить его одним маршрутом нельзя.

Рассмотрим три схемы стыкования маршрутов, показанных на рис. 17.5, б, в, г. По первой из них участок разрезан в средней точке области l_0 и для обслуживания его предложены маршруты l_1 и l_2 , стыкующиеся без перекрытия. Достоинством такого решения была бы возможность совмещения двух конечных станций маршрутов в одной КС2, но практически оно неприемлемо, так как в КС2 происходит массовая пересадка с маршрута l_1 на маршрут l_2 большого количества пассажиров. Что же касается коэффициента заполнения картограммы пассажиропотоков маршрутов l_1 и l_2 , то он остается таким же, как и для исходной картограммы пассажиропотока всего участка. Действительно, для исходного участка, например, при $l = 3$, $l_0 = 1$, $l_n = 0,3$ (в условных единицах) получим:

$$k_{з.ка} = [3 - 0,5(0,3 + 0,3)]/3 = 2,7/3 = 0,9.$$

Для маршрутов l_1 и l_2 при $l_1 = l_2$

$$k_{з.ка} = (1,5 - 0,5 \cdot 0,3)/1,5 = 1,35/1,5 = 0,9$$

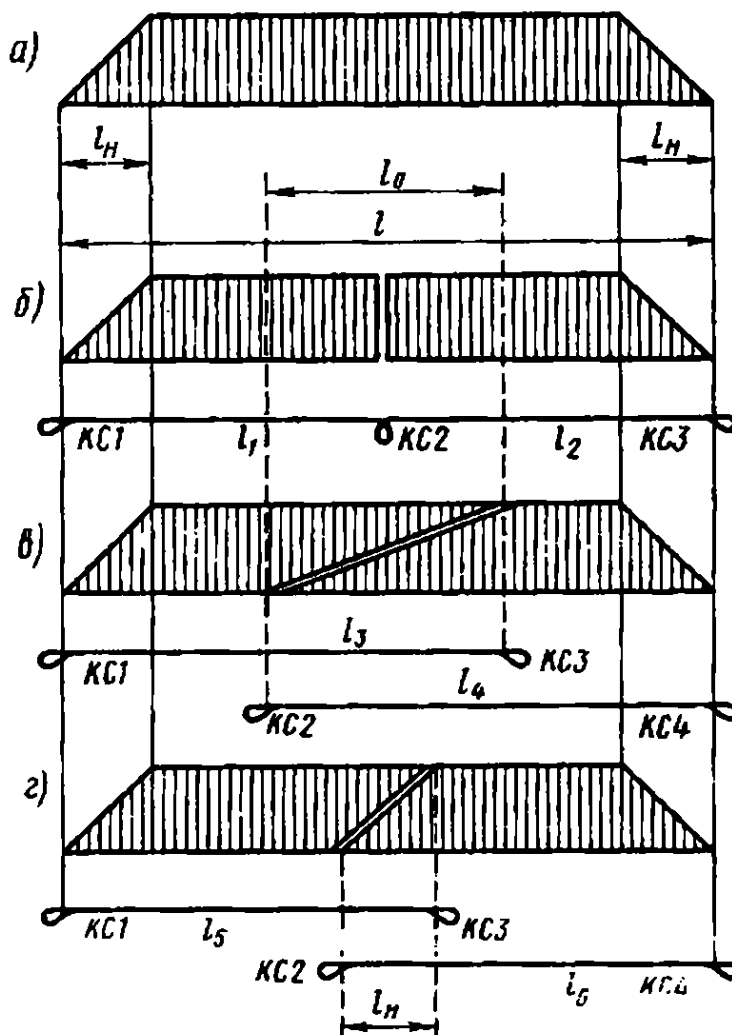


Рис 17.5

Схемы стыкования маршрутов

Полученное совпадение естественно, так как картограмма не изменилась.

В варианте рис. 17.5, *в* участок обслуживается маршрутами l_3 и l_4 , накладывающимися друг на друга на длине l_0 . Для пассажиров такой вариант стыковки наиболее приемлем, так как зона l_0 охватывается обоими маршрутами полностью. Но он может оказаться неприемлемым вследствие низких величин коэффициентов заполнения картограмм пассажиропотоков маршрутов. В частности, при принятых значениях длин участков и $l_3 = l_4$ получим:

$$k_{3.к0} = [(1,5 + 0,5) - (1 + 0,3) + 0,5(1 + 0,3)] / (1,5 + 0,5) = 1,35 / 2 = 0,68 \ll 0,9.$$

Низкие величины коэффициентов $k_{3.к}$ невыгодны для транспортных предприятий из-за плохого использования вместимости подвижного состава. Это заставляет уменьшать длину участка перекрытия маршрутов примерно так, как показано на рис. 17.5, *г*, где она принята равной l_n . Коэффициенты заполнения картограмм пассажиропотоков маршрутов рис. 17.5, *г* при принятых численных величинах длин участков будут равны:

$$k_{3.к2} = [(1,5 + 0,15) - (0,3 + 0,3) + 0,5(0,3 + 0,3)] / (1,5 + 0,15) = 1,35 / 1,65 = 0,82,$$

что значительно ближе к величине $k_{3.к0}$ по сравнению с величиной $k_{3.к1}$. Таким образом, по всем показателям наиболее приемлемым вариантом стыкования маршрутов оказывается вариант, показанный на рис. 17.5, *г*.

Типовой задачей регулирования распределения пассажиропотока между маршрутами является также задача повышения коэффициента заполнения картограммы пассажиропотоков на участках, где мощность пассажиропотока достаточно велика, а нарастание его по краям происходит сравнительно медленно. Такие участки целесообразно обслуживать двумя или несколькими маршрутами по возможности одинаковой мощности, если все они используют подвижной состав одного типа.

Трапецевидные картограммы с пологим нарастанием пассажиропотоков по концам (рис. 17.6, *а*) характерны для диаметральных маршрутов, связывающих пригородные районы города через центр. Исходная картограмма пассажиропотоков (рис. 17.6, *а*) имеет коэффициент заполнения

$$k_{3.к0} = [l_2 + 0,5(l_1 + l_3)] / (l_1 + l_2 + l_3).$$

Если, например, $l_1 = l_2 = l_3$, то

$$k_{3.к0} = [1 + 0,5(1 + 1)] / 3 = 0,67.$$

Этот коэффициент заполнения неприемлемо низок. С целью его повышения исходный пассажиропоток можно распределить на два

маршрута неравной длины l_4 и l_5 , как показано на рис. 17.6, а. Коэффициенты заполнения картограмм пассажиропотоков этих маршрутов будут больше $k_{\text{к0}}$:

$$k_{\text{з.к4}} = [(l_2 + 0,5(l_1 + l_3)) + 0,5 \cdot 0,5(l_1 + l_3)] / (l_1 + l_2 + l_3);$$

$$k_{\text{з.к5}} = [l_2 + 0,5 \cdot 0,5(l_1 + l_3)] / [0,5(l_1 + l_3) + l_2].$$

Если $l_1 = l_2 = l_3$, то

$$k_{\text{з.к4}} = (2 + 0,5) / 3 = 0,83; \quad k_{\text{з.к5}} = 1,5 / 2 = 0,75.$$

Однако недостатком этого решения является разная длина маршрутов, которая может затруднить распределение по маршрутам реального пассажиропотока и максимизацию длин маршрутов сети. Поэтому лучше преобразовывать картограмму исходного пассажиропотока так, как показано на рис. 17.6, б, и обслуживать его двумя маршрутами одинаковой длины $l_6 = l_7 = l_1 + l_2 + 0,5l_3$.

Коэффициенты заполнения картограмм пассажиропотоков этих маршрутов

$$k_{\text{з.к6}} = k_{\text{з.к7}} = [l_2 + 0,5l_1 + 0,5 \cdot 0,5(l_1 + l_3)] / (l_1 + l_2 + 0,5l_3).$$

При $l_1 = l_2 = l_3$

$$k_{\text{з.к6}} = k_{\text{з.к7}} = (1,5 + 0,5) / 2,5 = 0,8.$$

Последнее решение этой задачи и считают типовым. Аналогично (рис. 17.6, в) распределяют по маршрутам пассажиропоток радиальных собирающих и разводящих маршрутов, имеющий форму прямоуголь-

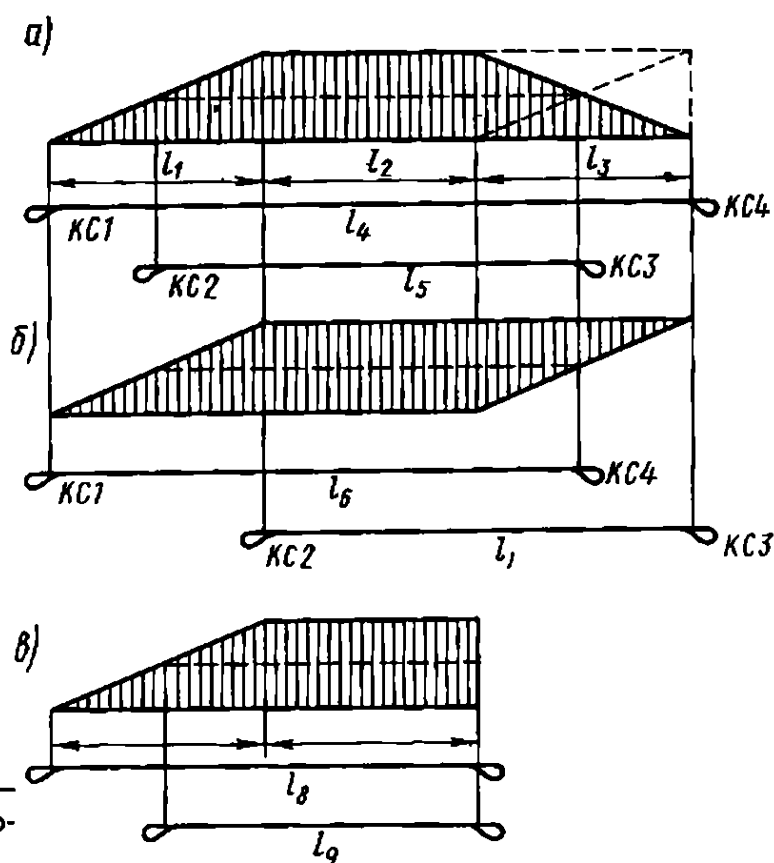


Рис. 17.6

Схемы распределения пассажиропотоков между маршрутами

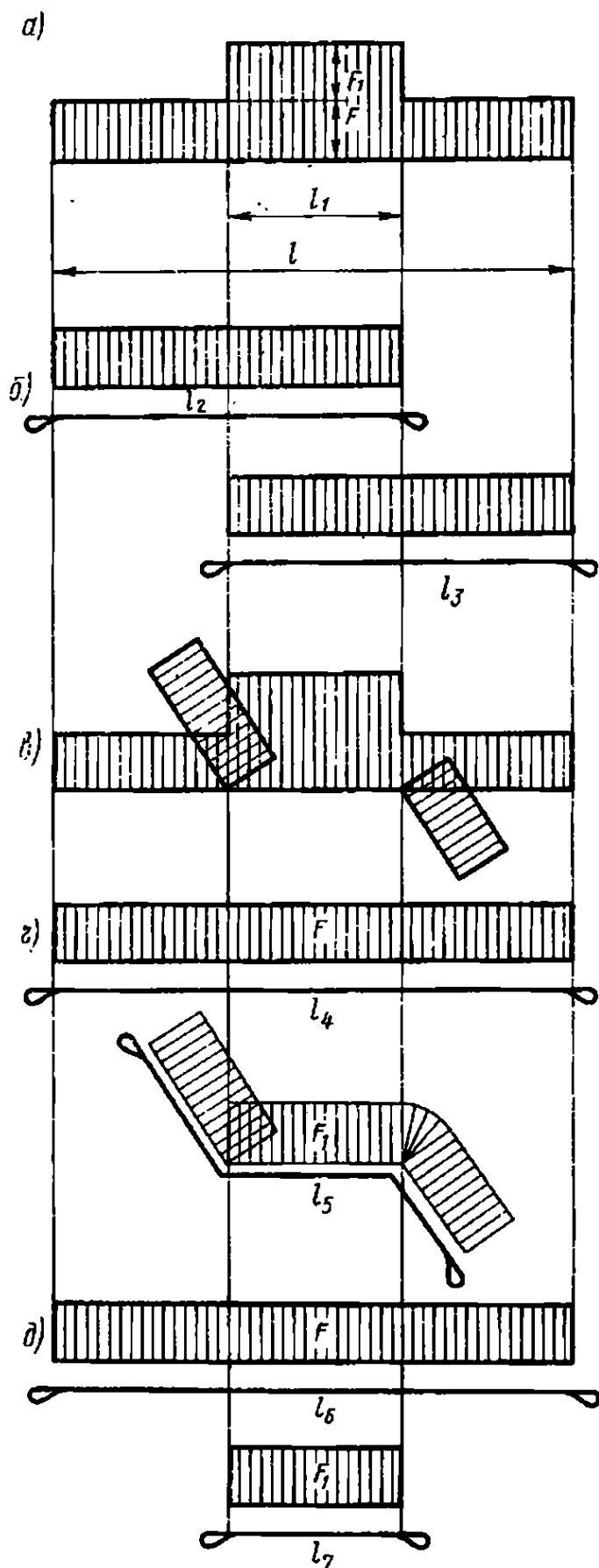


Рис. 17.7

Схемы преобразования картограмм пассажиропотоков

ной трапеции. Разница состоит в том, что здесь единственно возможным решением будет распределение его между маршрутами l_2 и l_3 разной длины.

К типовой задаче распределения пассажиропотоков по маршрутам относится также и задача ликвидации участков устойчивой перегрузки на отдельных частях картограммы пассажиропотоков, которую рассматривают как задачу преобразования картограммы, подобной показанной на рис. 17.7, а, где на участке l_1 наблюдается перегрузка.

Для простоты примем пассажиропотоки F и F_1 основной части маршрута и участка перегрузки одинаковыми ($F_1 = F$), $l_1 = l/3$ и скорость нарастания пассажиропотока по концам участков равной бесконечности. Коэффициент заполнения исходной картограммы

$$k_{\text{исх}} = (Fl + F_1 l_1) / (F + F_1) l.$$

При $F = F_1$ и $l_1 = l/3 = 0,33l$.

$$k_{\text{исх}} = (1,1 + 1 \cdot 0,33) / (1 + 1) \cdot 1 = 1,33/2 = 0,67.$$

Этот коэффициент заполнения картограммы недопустимо мал и свидетельствует о необходимости ее преобразования. Решение задачи зависит от причины появления на картограмме участка перегрузки и требует ее предварительного выяснения. Если причиной перегрузки является накладка пассажиропотоков одного направления, то правильным решением будет организация двух маршрутов l_2 и l_3 , накладывающихся друг на друга на длине l_1 (рис. 17.7, б). Если причиной является накладка пассажиропотока другого направления, сливающегося с основным на участ-

ке l_1 (рис. 17.7, в), то правильным решением будет организация маршрутов l_4 и l_5 (рис. 17.7, з).

Если причиной появления на картограмме рис. 17.7, а участка перегрузки являются местные пассажиры, то правильным решением может быть организация обслуживания пассажиропотока двумя маршрутами (рис. 17.7, д): основным l_6 и местным l_7 , если длина участка l_1 не меньше средней длины пассажиропоездки $L_{ср}$.

Коэффициенты заполнения картограмм пассажиропотоков (маршрутов, показанных на рис. 17.7 при принятых условиях для всех вариантов решения задачи равны единице. Реальные задачи могут быть сложнее и не дают такого идеального решения.

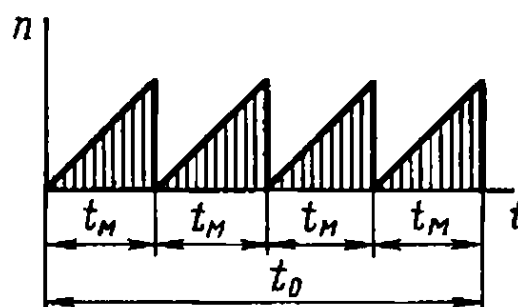
Решение большинства задач распределения пассажиропотоков по маршрутам требует обычно очень внимательного анализа возможностей реального обеспечения расчетного распределения, которое можно получить только при правильном выборе интервалов между поездами на маршрутах и между поездами разных маршрутов, т. е. при определенном порядке следования поездов разных маршрутов через остановочные пункты.

Рассмотрим, например, случай распределения пассажиропотока по маршрутам, показанный на рис. 17.7, д. Местные пассажиры участка l_1 могут и будут пользоваться не только поездами предназначенного для них маршрута l_7 , но и поездами не предназначенного для них маршрута l_6 , создавая их перегрузку. Поезда маршрута l_7 будут при этом работать с недогрузкой. Поэтому получить идеальное распределение пассажиропотоков, показанное на рис. 17.7, д, реально не удастся и на участке l_1 основного маршрута l_6 останется некоторая перегрузка. Чтобы перебросить на маршрут l_7 максимум местных пассажиров, его нужно будет обслуживать поездами малой вместимости, работающими со значительно меньшими интервалами по сравнению с поездами основного маршрута, и строить организацию движения так, чтобы они следовали через остановочные пункты непосредственно перед поездами основного маршрута. В этом случае маршрут l_7 заберет большую часть местных пассажиров и перегрузка основного маршрута будет минимальной.

Если, например, интервал между основными поездами равен t_0 , а движение местных поездов организовано с интервалом t_m (рис. 17.8), то при равномерном подходе пассажиров к остановочным пунктам со скоростью dn/dt пасс/ч, где n — количество подходящих пассажиров, за время t_0 на остановочный пункт подойдет $n_0 = (dn/dt)t_0$ пассажиров, за время t_m — соответственно $n_m = (dn/dt)t_m$ пассажиров.

Рис. 17.8

Диаграмма заполнения пассажирами остановочных пунктов при равномерном подходе пассажиров и регулярном движении поездов с равными интервалами



Основной маршрут l_6 возьмет на себя часть местного пассажиропотока, равную $F_6 = n_m$, а местный l_7 — пассажиропоток

$$F_7 = n_0 - n_m = \frac{dn}{dt} (t_0 - t_m).$$

Сумма их будет равна местному пассажиропотоку F_1 :

$$F_1 = F_6 + F_7 = n_m + n_0 - n_m = n_0 = \frac{dn}{dt} t_0.$$

Таким образом, местный маршрут возьмет на себя только часть местного пассажиропотока:

$$F_7/F_1 = (n_0 - n_m)/n_0 = 1 - n_m/n_0 = 1 - t_m/t_0,$$

а основной маршрут — часть местного пассажиропотока:

$$F_6/F_1 = n_m/n_0 = t_m/t_0.$$

Если, например (рис. 17.8), $t_m = t_0/4$, то местный маршрут возьмет на себя $3/4$, а основной $1/4$ местного пассажиропотока.

Влияние сдвига интервалов следования поездов местного и основного маршрутов на распределение между ними пассажиропотоков пассажиров местного и дальнего следования можно рассмотреть на примере рис. 17.9. Для простоты здесь приняты равные интервалы t_u следования основных и местных поездов и равное количество пассажиров местного и дальнего следования, подходящих к остановочным пунктам в единицу времени $n_m(t) = n_0(t)$, которое определяет равные потоки пассажиров местного и дальнего следования. Пассажиры местного следования могут воспользоваться и местными, и основными поездами, пассажиры дальнего следования — только поездами основного маршрута.

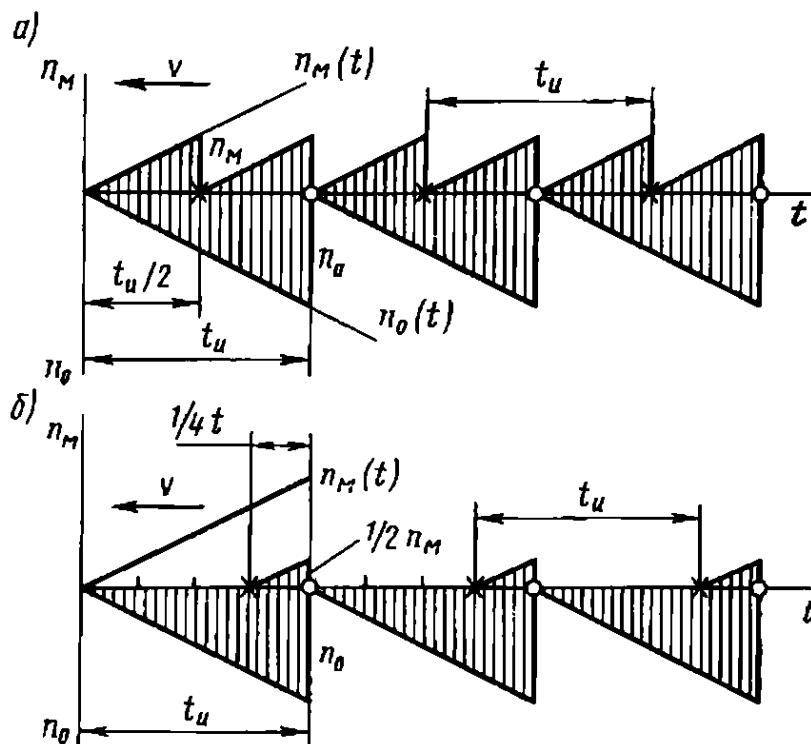


Рис. 17.9

Диаграмма заполнения поездов местного и дальнего следования при равномерном подходе пассажиров к остановочным пунктам

На рис. 17.9, а показан вариант организации движения, при котором поезда местного маршрута пропускаются через остановочный пункт в середине интервала между поездами основного маршрута. Из построения видно, что на поезда местного маршрута в этом случае будет садиться половина местных пассажиров, равная n_m , на поезда основного маршрута — пассажиры n_0 дальнего следования и пассажиры n_m местного следования, всего $n_0 + n_m = 3n_m$. Из общей пассажирской нагрузки $4n_m$ поезда основного маршрута возьмут $3/4$ и поезда местного маршрута — $1/4$, тогда как по условию пассажиропотоки их равны и, следовательно, должны составлять $2n_m$ каждый. Основной маршрут будет работать с 50%-ной перегрузкой, а местный — с 50%-ной недогрузкой. Таким образом, введение укороченного маршрута при организации движения по рассмотренной схеме снимает перегрузку основного маршрута лишь наполовину. Правильное использование подвижного состава по вместимости на укороченных маршрутах можно получить в этом случае только при условии обслуживания их поездами вдвое меньшей вместимости по сравнению с вместимостью поездов основного маршрута. Желательно ее иметь несколько большей, так как это будет способствовать некоторому снижению переполнения поездов основного маршрута за счет того, что часть местных пассажиров предпочтет пропустить переполненные поезда основного маршрута.

На рис. 17.9, б показан вариант организации движения на тех же маршрутах при уменьшении интервала между поездами местного и основного маршрутов наполовину — до $t/4$. Построение рис. 17.9, б показывает, что при организации движения по этой схеме перегрузка основных маршрутов местными пассажирами уменьшается по сравнению с предыдущим вариантом наполовину. Поездами местного маршрута будет осваиваться в этом случае $3/4$ расчетного пассажиропотока, и перегрузка поездов основного маршрута уменьшится до 25%. Для получения этого эффекта поезда местного маршрута должны следовать через остановочные пункты непосредственно перед основными в направлении стрелки v с интервалом $t/4$.

§ 17.5. Принципы совмещения и разделения маршрутов ГМПТ

Расчетные пассажиропотоки транспортной сети должны быть распределены по маршрутам одного или разных видов ГМПТ с учетом их технико-экономических показателей (провозной способности, эксплуатационной экономичности, маневренности и пр.), уровня требований к городским пассажироперевозкам (архитектурно-строительных, санитарных, эстетических и пр.) и общих требований, предъявляемых к маршрутным системам (территориальной и временной увязанности, оптимизации по общим затратам транспортного времени населения в поездках и т. д.). В связи с этим при разработке маршрутных систем решают целый ряд самых различных задач, в частности задачи совмещения и разделения маршрутов на транспортных проездах.

Задачи совмещения маршрутов. Основными задачами, относящимися к типу задач совмещения маршрутов, являются:

1. Оптимизация транспортной сети и маршрутной системы в районах с небольшой плотностью населения, когда пассажиропотоки малы

и маршрутные интервалы получаются неприемлемо большими. Совмещение маршрутов используют в этом случае как вынужденное решение, если исчерпаны или неприемлемы другие возможности: использование подвижного состава малой вместимости, специальных видов транспорта или методов организации движения обычных и др. При таком совмещении маршрутов часть транспортных линий снимают так, чтобы плотность оставшихся была по возможности равномерной, вернее, максимально соответствовала плотности расселения населения.

При снижении плотности транспортной сети соответственно повышается плотность движения (количество поездов на 1 км длины транспортной сети) и уменьшается расчетный интервал между поездами.

Уменьшение плотности транспортной сети связано с увеличением зоны пешеходного подхода к остановочным пунктам МПТ и потерей части пассажиров, но обеспечивает повышение коэффициента использования капиталовложений в линейные сооружения и подвижного состава по наполнению пассажирами.

2. Повышение экономических показателей и качества транспортного обслуживания местных пассажиропотоков, когда один маршрут или маршруты одного вида транспорта не справляются с пассажироперевозками или не обеспечивают требующейся экономичности системы, а возможности повышения интенсивности движения ограничены допускаемым минимальным сетевым интервалом или требующейся регулярностью движения. Эти задачи решают совмещением на транспортных проездах маршрутов разных видов транспорта и повышением эксплуатационной скорости за счет перевода части маршрутов на режим экспрессного движения.

3. Организация (совмещение с основными) дополнительных укороченных, удлиненных и временных маршрутов для снятия постоянных или временных перегрузок на отдельных участках основных маршрутов транспортной сети.

4. Организация движения в «узких местах» транспортной сети — местах концентрации маршрутов одного и разных видов МПТ: в тоннелях, путепроводах, на мостах. Задачи этого типа связаны с оптимизацией совмещения маршрутов по критерию обеспечения максимальной пропускной способности лимитирующих участков.

Несомненным плюсом совмещения маршрутов при прочих равных условиях является повышение использования линейных сооружений, а главным условием его экономической целесообразности — обеспечение расчетного распределения пассажиропотоков между совмещаемыми маршрутами. Чем выше стоимость дорожно-транспортных сооружений, тем целесообразнее совмещение маршрутов, а чем интенсивнее движение, тем целесообразнее их разделение. Совмещение маршрутов ограничено допустимым минимальным сетевым интервалом и необходимым уровнем регулярности движения.

Чтобы уменьшить влияние совмещаемых маршрутов друг на друга и обеспечить максимальную эффективность их совмещения, рекомендуется соблюдать следующие положения:

а) все маршруты, совмещаемые на одной полосе движения (т. е. маршруты всех видов транспорта с запрещенным обгоном), должны

обслуживаться подвижным составом с одинаковыми динамическими характеристиками. При несоблюдении этого условия пропускная способность полосы движения будет лимитироваться подвижным составом с наиболее низкими динамическими характеристиками, что снижает эксплуатационную скорость и другие эксплуатационные показатели работы совмещенных маршрутов;

б) при вынужденной эксплуатации на одной полосе движения двух маршрутов с разнотипным подвижным составом маршрутов, обслуживаемый подвижным составом с низкими динамическими характеристиками, целесообразно делать полуэкспрессным, т. е. с редкими остановками;

в) при совмещении на магистралях маршрутов разных видов транспорта (когда для освоения заданных пассажироперевозок недостаточно маршрутов одного вида транспорта) один из них целесообразно делать обычным со всеми остановками, а другой — экспрессным или полуэкспрессным с редкими остановками. При этом повышается средняя эксплуатационная скорость и уменьшается количество подвижного состава, необходимого для освоения пассажироперевозок.

Общее правило сочетания маршрутов следующее: местные пассажиры, перемещающиеся на короткие расстояния, должны обслуживаться транспортом, работающим по системе обычных маршрутов со всеми остановками, а транзитные пассажиры, едущие на дальние расстояния, — транспортом, работающим по системе полуэкспрессных маршрутов с редкими остановками. Если основную часть пассажиропотока составляют местные пассажиры, то по системе обычных маршрутов должен работать транспорт с высокой провозной способностью, например трамвай, а если основную часть пассажиропотока составляют транзитные пассажиры, то трамвай целесообразно делать экспрессным или полуэкспрессным. Неосновной пассажиропоток обслуживают транспортом с низкой провозной способностью, например автобусом, который при перевозке местных пассажиров должен работать по системе обычного маршрутного со всеми остановками, а при перевозке транзитных пассажиров — по системе экспрессных маршрутов.

Главная проблема при совмещении обычных маршрутов с экспрессными состоит в выявлении ожидаемых на них пассажиропотоков, которые могут быть определены расчетом и методами натурного обследования. Для выравнивания пассажиропотоков по длине полуэкспрессные маршруты в средней части делают обычно с редкими остановками, а по концам — с частыми остановками. Это снижает их эффективность по эксплуатационной скорости, но зато повышает коэффициент заполнения картограммы пассажиропотоков и удобство маршрута для пассажиров.

Эффект организации полуэкспрессных и экспрессных маршрутов состоит в снижении транспортного времени (особенно при поездках на дальние расстояния) и уменьшении количества подвижного состава, требующегося для освоения заданных пассажироперевозок. За час работы экспрессный и обычный маршруты выполняют транспортную работу:

$$Q_0 = N_{\text{дв.о}} m_{\text{р.о}} k_{\text{н.о}} v_{\text{э.о}} \text{ и } Q_{\text{э}} = N_{\text{дв.э}} m_{\text{р.э}} k_{\text{н.э}} v_{\text{э.э}},$$

где $N_{дв.о}$ и $N_{дв.э}$ — количества подвижного состава в движении, обслуживающие обычный и экспрессный маршруты; $m_{р.о}$ и $m_{р.э}$ — расчетная вместимость единицы подвижного состава обычного и экспрессного маршрутов; $k_{н.о}$ и $k_{н.э}$ — коэффициенты их наполнения, $v_{э.о}$ и $v_{э.э}$ — эксплуатационные скорости подвижного состава обычного и экспрессного маршрутов.

При одном и том же объеме транспортной работы обычного и экспрессного маршрутов $Q_o = Q_e$, экономия подвижного состава на экспрессном маршруте $\Delta N_{дв}$ может быть определена из условия:

$$N_{дв.о} m_{р.о} k_{н.о} v_{э.о} = N_{дв.э} m_{р.э} k_{н.э} v_{э.э},$$

откуда

$$N_{дв.э} = N_{дв.о} (m_{р.о} k_{н.о} / m_{р.э} k_{н.э}) (v_{э.о} / v_{э.э}).$$

Следовательно,

$$\Delta N_{дв} = N_{дв.о} - N_{дв.э} = N_{дв.о} [1 - (m_{р.о} \times k_{н.о} / m_{р.э} k_{н.э}) (v_{э.о} / v_{э.э})] \quad (17.4)$$

или в процентах к подвижному составу, требующемуся для обслуживания обычного маршрута:

$$\Delta N_{дв} / N_{дв.о} = [1 - (m_{р.о} k_{н.о} / m_{р.э} k_{н.э}) (v_{э.о} / v_{э.э})] 100\%.$$

При $m_{р.о} = m_{р.э}$ и $k_{н.о} = k_{н.э}$ получим

$$\Delta N_{дв} / N_{дв.о} = [(v_{э.э} - v_{э.о}) / v_{э.э}] 100\%. \quad (17.5)$$

Таким образом, экономия подвижного состава на экспрессных маршрутах пропорциональна приращению эксплуатационной скорости подвижного состава по сравнению с эксплуатационной скоростью на обычных маршрутах.

Задачи разделения маршрутов. Основными задачами разделения маршрутов являются:

1. Замена маршрута с напряженным движением группой маршрутов того же или разных видов транспорта, работающих на тех же проездах, но в более оптимальном режиме и обеспечивающих более высокий коэффициент беспересадочности, более высокую эксплуатационную скорость и другие эксплуатационные показатели транспортной системы. Такой эффект разделение маршрутов дает в случаях, когда вновь вводимые маршруты ориентируют преимущественно на режим экспрессного движения.

2. Перевод части пассажиропотока с перегруженных проездов на обходные или параллельные направления при сохранении на прежнем уровне или повышении коэффициента беспересадочности сообщений и общем улучшении показателей транспортного обслуживания городского населения.

3. Территориальное разделение маршрутов разных видов транспорта, определяемое архитектурно-градостроительными, санитарно-эстетическими или другими соображениями.

Наиболее характерными видами территориального разделения маршрутов разных видов транспорта является разделение их по направлениям и территориальным зонам города, различающимся характером застройки (административно-культурные, промышленные, жилые) и плотностью пассажиропотоков (городские центры, средняя зона, окраины). Принципиальная схема территориального разделения маршрутов разных видов транспорта по зонам показана на рис. 17.10, а. Для обслуживания городских центров 1 по этой схеме используют комфортабельные виды транспорта, отличающиеся гигиеничностью, высокой провозной способностью, высокими эстетическими показателями и хорошей вписываемостью в городскую застройку. В средней зоне 2 используют виды транспорта, отличающиеся высокой провозной способностью, гигиеничностью и эксплуатационной экономичностью, в пригородах 3 — наиболее маневренные виды транспорта, характеризующиеся минимальными капиталовложениями в дорожно-транспортные сооружения, гибкостью транспортной сети и сравнительно невысокой провозной способностью в соответствии с потребностями этих районов в пассажироперевозках.

Примером современных транспортных систем с территориальным зонированием этого типа является система Park — and — Ride, нашедшая применение в ряде крупных городов зарубежных стран в связи с большой перегрузкой автотранспортом. Городские пассажироперевозки внутри зоны городского центра осуществляются по этой системе только средствами МПТ, въезд в нее автотранспорта запрещен, а подвоз пассажиров к конечным станциям МПТ, обслуживающего центр, производят в основном средствами автотранспорта. У кольцевой автомагистрали,

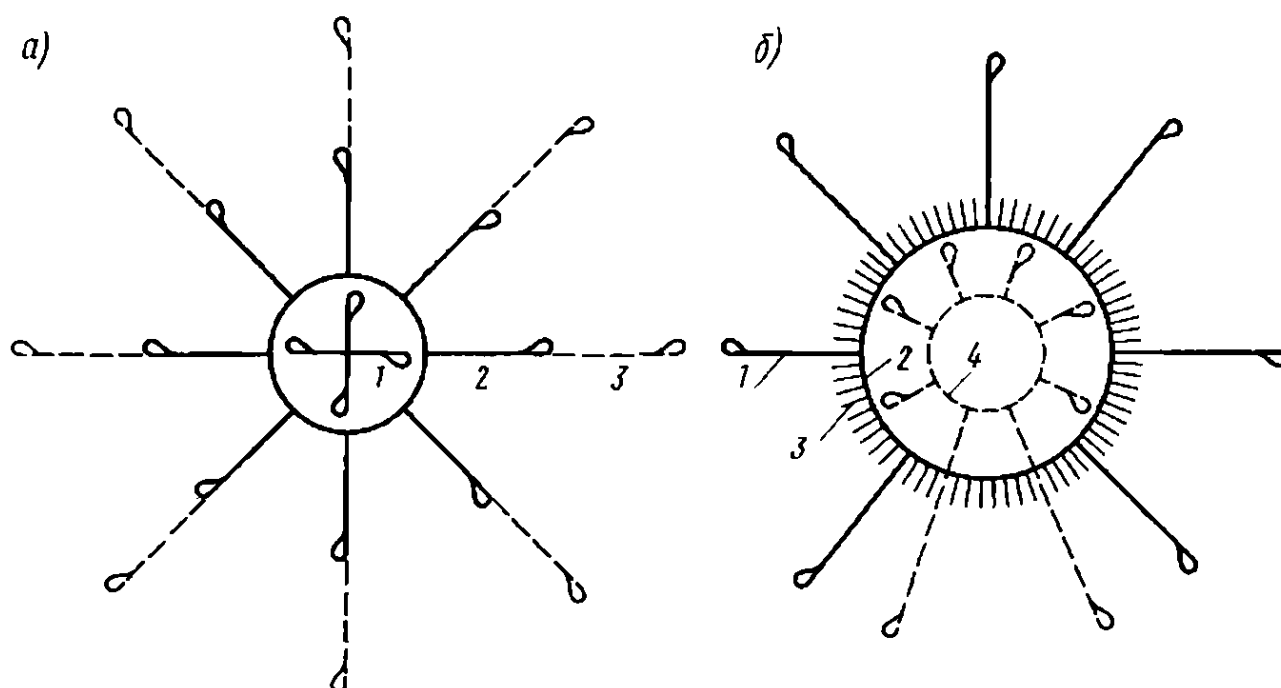


Рис. 17.10

охватывающей зону, свободную от автотранспорта, размещают автостоянки, где пассажиры, следующие в центр, оставляют свои автомобили. Принципиальная схема системы Park — and — Ride приведена на рис. 17.10, б. Здесь сплошными линиями показана автомобильная транспортная система (радиальные 1 и центральная кольцевая 2 автомагистрали), штриховкой 3 — зоны парковки автомобилей, пунктирными линиями 4 — транспортная система МПТ.

Отрицательной стороной территориального разделения маршрутов МПТ по зонам является их искусственное разрезание на границах зон. Поэтому наиболее совершенным считают территориальное разделение маршрутов разных видов МПТ не по зонам, а по направлениям или проездам разных классов. При этом главные городские магистрали, отличающиеся наиболее интенсивным движением и наиболее высоким уровнем градостроительных и санитарно-эстетических требований к ГПТ, обслуживаются наиболее комфортабельными видами МПТ высокой провозной способности, а второстепенные — видами МПТ, не обеспечивающими уровня транспортного комфорта, требующегося для МПТ центральных магистралей. Для транспортного обслуживания главных городских магистралей используют обычно современные виды безрельсового транспорта — автобус и троллейбус (в том числе экспрессы), а на второстепенных напряженных магистралях — трамвай, но могут быть и другие решения.

Главным эффектом разделения маршрутов разных видов МПТ является исключение их мешающего влияния друг на друга. Разделение должно осуществляться так, чтобы маршруты были тесно связаны пассажиропотоками и помогали в освоении городских пассажирских перевозок.

§ 17.6. Маршрутизация с учетом колебаний пассажиропотоков по длине маршрутов ГМПТ во времени

Колебания пассажиропотоков по участкам и направлениям маршрутов по часам суток и периодам движения снижают коэффициент наполнения подвижного состава и приводят к резкому ухудшению качества транспортного обслуживания и экономических показателей работы ГМПТ. Резко выраженную пиковую нагрузку по участкам и направлениям имеют обычно межрайонные и местные маршруты, обслуживающие заводские периферийные районы и связывающие их с городским центром или жилыми массивами. В периоды начала и окончания работы предприятий они резко перегружены, днем же и вечером движение по ним небольшое и достаточно равномерное по всей длине. Принципиальные картограммы пассажиропотоков маршрутов этого типа в утренние и дневные часы показаны на рис. 17.11, а, где 1 — перевозки пассажиров на маршруте в начале часа пик (перегружен конечный участок маршрута на направлении от центра Ц к промышленному району П); 2 — перевозки пассажиров к промышленному району П в конце часа пик; 3 — перевозки пассажиров по направлению к центру (жилому району) в начале часа пик после начала работы предприятий (окончания предыдущей ночной смены), 4 — в дневные часы.

Диаметральные маршруты, пересекающие городской центр, имеют в утренние часы высокую пиковую нагрузку вначале по концам маршрута, затем в середине (пассажирами, едущими в центр). Днем нагрузка этих маршрутов по концам весьма мала, а в средней части высокая (за счет бытовых поездок населения). Принципиальные картограммы пассажиропотоков диаметральных маршрутов в утренние и дневные часы показаны на рис. 17.11, б: 1 — в начале пика трудовых поездок к центру; 2 — в конце пика трудовых поездок к центру; 3 — в дневные часы.

Методами повышения коэффициента использования подвижного состава по наполнению и улучшения качества пассажироперевозок на маршрутах с резко выраженной неравномерностью пассажиропотоков по часам дня и периодам движения являются:

1. Концентрация поездов на участках максимального пассажиропотока за счет рассредоточения их на остальных участках маршрута (рис. 17.12, а).

2. Согласование расписаний движения по выпуску поездов на взаимно помогающих друг другу маршрутах. На рис. 17.12, б показаны два таких маршрута АВ и ВС в момент перегрузки направления С—В маршрута ВС. Для снятия этой перегрузки на маршрут ВС переброшено с маршрута АВ четыре поезда. На рис. 17.12, в показаны те же маршруты в момент максимальной нагрузки направления В—А маршрута АВ. Для освоения этой нагрузки с маршрута ВС на направление В—А маршрута АВ переброшено пять добавочных поездов. Максимальную эффективность взаимопомощи маршрутов обеспечивает оперативное составление и согласование расписаний движения на маршрутах с использованием ЭВМ.

3. Организация специальных коротких временных рейсов на участках маршрутов с повышенной нагрузкой поездами своего или других маршрутов, незагруженных в это время. Основной маршрут обслуживается небольшим количеством поездов, рассчитанным на освоение постоянного пассажиропотока. Коэффициент использования

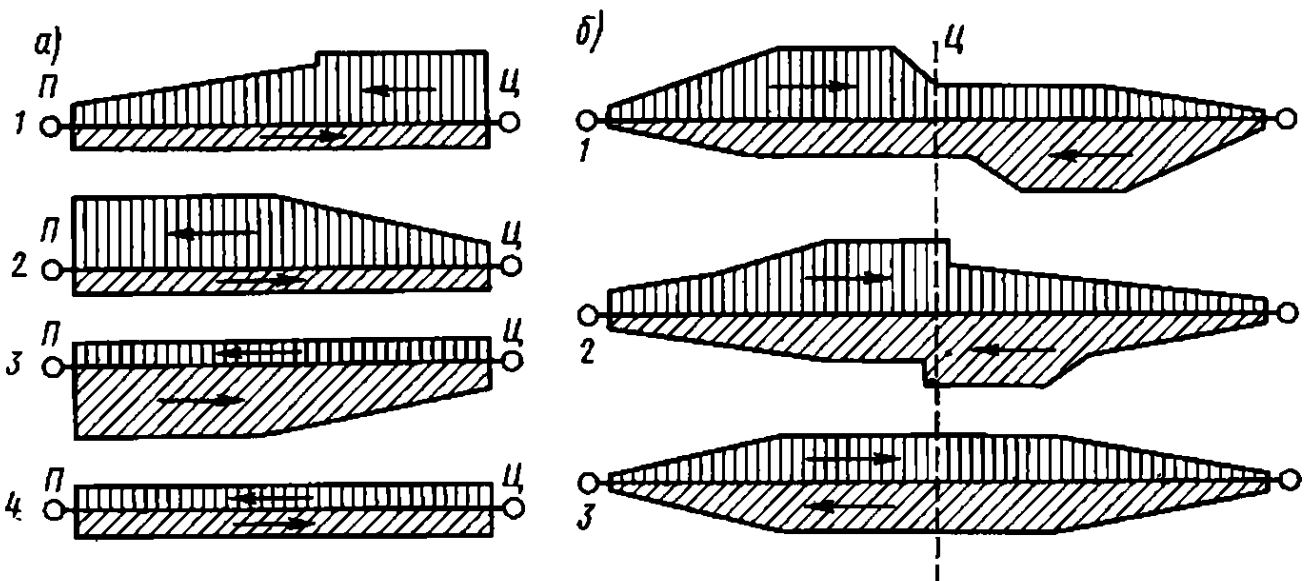


Рис. 17.11

Принципиальные картограммы пассажиропотоков радиальных (а) и диаметральных (б) маршрутов в разные моменты периода движения

подвижного состава по наполнению получается достаточно высоким для поездов как основного, так и временного маршрутов. На радиальных маршрутах временные рейсы *В* могут быть организованы так, как показано на рис. 17.12, *з*, с оборотом поездов у центра *Ц* или промышленного района *П* и в подходящих средних точках основного маршрута *О*, причем в разные часы по-разному. На диаметральных маршрутах, проходящих через центр *Ц*, перегрузка в средней части может быть снята временными или постоянными дополнительными короткими маршрутами *Д* так, как показано на рис. 17.12, *д*.

Временные рейсы рассчитывают специально и вводят в маршрутные расписания движения поездов.

Приспособление маршрутной системы к снятию пиков пассажиропотоков по длине маршрутов во времени достигается:

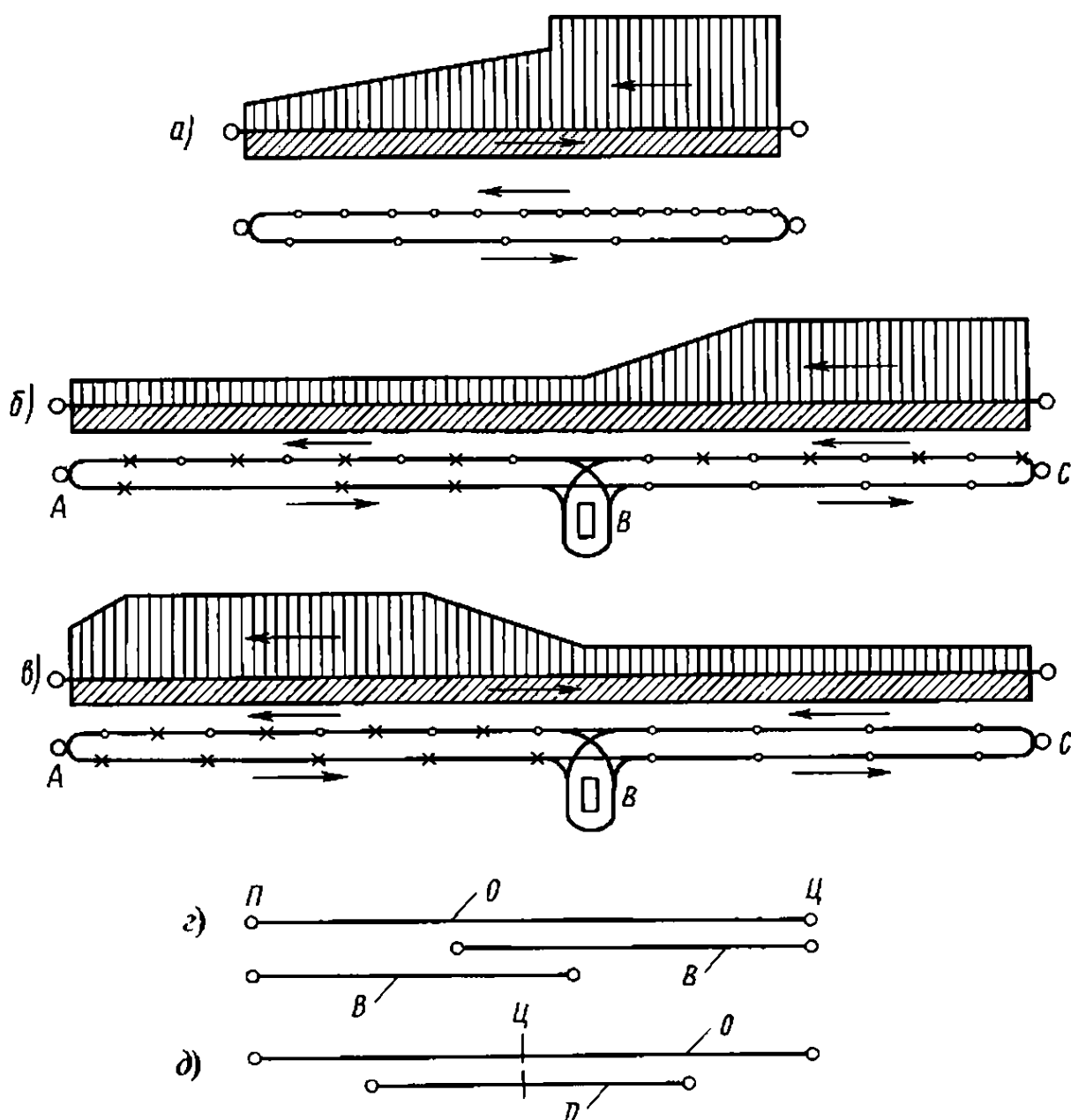


Рис. 17.12

Схемы методов повышения равномерности наполнения подвижного состава на маршрутах

обеспечением возможности легкой передачи поездов с маршрута на маршрут по кратчайшим направлениям между пунктами передачи;
организацией оборота поездов на маршрутах не только на конечных станциях, но и в промежуточных точках маршрутов.

§ 17.7. Задача об отмене остановочного пункта

При оптимизации маршрутов по критерию минимума потерь транспортного времени пассажиров часто приходится решать задачи о сокращении или переносе остановочных пунктов. Решение о сокращении остановочных пунктов с небольшим пассажирооборотом должно приниматься на основе сравнения потерь времени $\Delta t_{пв}$ пассажиров, совершающих посадку и высадку на рассматриваемом остановочном пункте (за счет увеличения зоны пешего хождения при его отмене, в результате необходимости делать посадку или высадку на соседних остановочных пунктах) и выигрыша времени $\Delta t_{т}$ транзитных пассажиров за счет сокращения остановочного пункта.

В качестве примера рассмотрим следующую ситуацию (рис. 17.13). Пусть на участке маршрута 1—3 с остановками 1, 2 и 3 и длиной перегонов $l_{12} = l_{23} = l_n$ нужно решить вопрос о возможности отмены остановочного пункта 2. Количество пассажиров, участвующих в пассажирообмене остановочного пункта 2:

$$A_{пв} = J \rho_{оп} m_p k_n,$$

где J — интенсивность движения на маршруте; $\rho_{оп}$ — коэффициент пассажирооборота остановочного пункта; m_p — расчетная вместимость поездов, обслуживающих маршрут; k_n — коэффициент использования вместимости подвижного состава.

Количество пассажиров, проезжающих остановочный пункт 2 транзитом:

$$A_{т} = J (1 - \rho_{оп}) m_p k_n.$$

Потери транспортного времени пассажиров $A_{пв}$ при отмене остановочного пункта 2 будут связаны с увеличением затрат времени на пешее передвижение. При наличии остановочного пункта 2 затраты времени

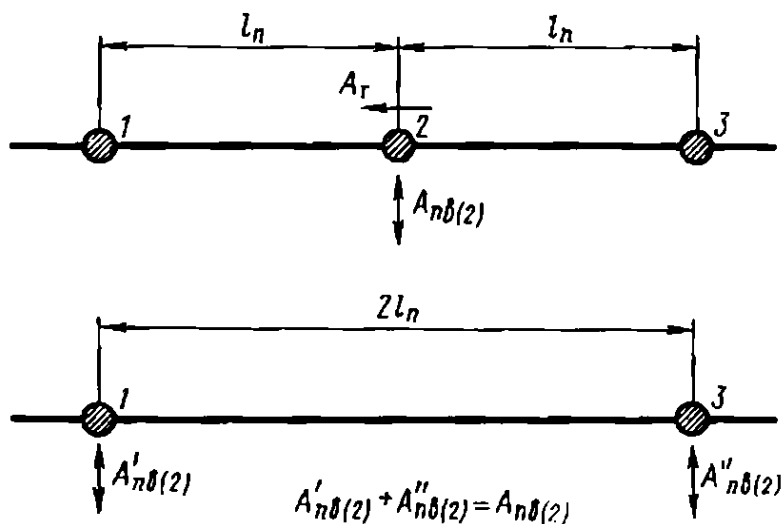


Рис. 17.13

Распределение пассажирообмена $A_{пв(2)}$ при отмене остановочного пункта 2

пассажиры $A_{пв}$ на пешее передвижение по транспортной линии [см. (3.38)]

$$A_{пв} (l_{п}/4v_{пеш}) \varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во},$$

а при отмене остановочного пункта увеличатся до

$$A_{пв} (2l_{п}/4v_{пеш}) \varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во}.$$

Потери времени пассажиров $A_{пв}$ при отмене остановочного пункта 2 будут определяться разностью этих затрат:

$$A_{пв} (l_{п}/4v_{пеш}) \varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во} = J\rho_{оп} m_p k_n (l_{п}/4v_{пеш}) \varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во}.$$

Однако при отмене остановочного пункта 2 скорость сообщения на маршруте, равная ранее величине $v_{с1}$, увеличится до величины $v_{с2}$, а это приведет к уменьшению транспортного времени пассажиров. При средней дальности поездки $L_{ср}$ общие потери времени пассажиров, участвующих в пассажирообороте остановочного пункта 2, при его отмене будут равны:

$$\Delta t_{пв} = J\rho_{оп} m_p k_n [(l_{п}/4v_{пеш}) \varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во} - (L_{ср}/v_{с1} - L_{ср}/v_{с2})].$$

Транзитные пассажиры во время пассажирообмена остановочного пункта 2 теряют время

$$A_t t_{оп} = Jm_p k_n (1 - \rho_{оп}) t_{оп}.$$

При отмене остановочного пункта 2 пассажиры A_t экономят время $A_t t_{оп}$, а также часть транспортного времени, связанного с увеличением скорости сообщения с величины $v_{с1}$ до величины $v_{с2}$. Общая экономия транспортного времени транзитных пассажиров

$$\Delta t_t = Jm_p k_n (1 - \rho_{оп}) (t_{оп} + L_{ср}/v_{с1} - L_{ср}/v_{с2}).$$

Отмена остановочного пункта 2 целесообразна при условии $\Delta t_{пв} < \Delta t_t$, т. е. когда потери времени пассажиров, участвующих в пассажирообмене остановочного пункта 2, будут меньше экономии транспортного времени транзитных пассажиров. Отсюда

$$Jm_p k_n \rho_{оп} [(l_{п}/4v_{пеш}) \varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во} - (L_{ср}/v_{с1} - L_{ср}/v_{с2})] < Jm_p k_n (1 - \rho_{оп}) [t_{оп} + (L_{ср}/v_{с1} - L_{ср}/v_{с2})]$$

или

$$l_{п} < (4v_{пеш}/\varepsilon_{пеш} k_{нп} k_{во} \rho_{оп}) [(1 - \rho_{оп}) t_{оп} + L_{ср} (v_{с2} - v_{с1})/v_{с1} v_{с2}]. \quad (17.6)$$

По (3.19), (6.11) и (6.12)

$$t_{оп} = \rho_{оп} m_p k_n t_{пасс} k_{нд}/n + 5.$$

С учетом этого

$$l_n < (4v_{\text{пеш}}/\varepsilon_{\text{пеш}}k_{\text{нп}}k_{\text{во}}\rho_{\text{оп}})[(1 - \rho_{\text{оп}}) \times \\ \times (\rho_{\text{оп}}m_{\text{р}}k_{\text{н}}t_{\text{пасс}}k_{\text{нд}}/n + 5) + L_{\text{ср}}(v_{\text{с2}} - v_{\text{с1}})/v_{\text{с1}}v_{\text{с2}}]. \quad (17.7)$$

Принимая, например, $v_{\text{пеш}} = 4$ км/ч (1,11 м/с), $\varepsilon_{\text{пеш}} = 1,5$, $k_{\text{нп}} = 1,2$, $k_{\text{во}} = 1,3$, $m_{\text{р}} = 100$ чел., $k_{\text{н}} = 1$, $t_{\text{пасс}} = 1$ с, $n = 2$, $k_{\text{нд}} = 1,2$, $v_{\text{с2}} = v_{\text{с1}}$ и $\rho_{\text{оп}} = 0,2$, по (17.7) получим $l_n = 130$ м. Иначе говоря, при принятых данных остановочный пункт с 20%-ным пассажирооборотом целесообразно снимать с передачи пассажирооборота на соседние остановочные пункты при длине перегона $l_n < 130$ м. Если при тех же условиях принять $\rho_{\text{оп}} = 0,05$, то получим, что такой остановочный пункт целесообразно снимать при длине перегона $l_n < 290$ м.

Г л а в а 18

ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГМПТ

§ 18.1. Нормирование рейсового времени, регулярности движения и эксплуатационной скорости на маршрутах ГМПТ

Рейсом (полным рейсом, оборотным рейсом) называют полный цикл движения поезда на маршруте от какого-либо отправления с распорядительной конечной станции (РС) или технической конечной станции (ТС) до следующего за ним отправления с той же станции. *Полурейсом* называют цикл движения поезда от РС до ТС в одну сторону. Время полного цикла движения по рейсу называют *рейсовым временем* $t_{\text{р}}$. Рейсовое время складывается из времени движения поездов по маршруту в оба направления $2t_{\text{д}}$ и времени отстоя $t_{\text{РС}} + t_{\text{ТС}}$ на конечных станциях РС и ТС (3.25):

$$t_{\text{р}} = 2t_{\text{д}} + (t_{\text{РС}} + t_{\text{ТС}}).$$

Время движения $t_{\text{д}}$ поезда по маршруту непосредственно определяет его скорость сообщения $v_{\text{с}}$, а рейсовое время $t_{\text{р}}$ — эксплуатационную скорость $v_{\text{э}}$:

$$v_{\text{с}} = l_{\text{м}}/t_{\text{д}}; \quad v_{\text{э}} = 2l_{\text{м}}/t_{\text{р}}, \quad (18.1)$$

где $l_{\text{м}}$ — длина маршрута (расстояние между конечными станциями РС и ТС).

Следовательно, рейсовое время $t_{\text{р}}$ является одним из основных планово-нормативных показателей, необходимых для планирования движения, так как оно определяет эксплуатационную скорость, а от нее зависит требуемое количество подвижного состава для обслуживания заданных пассажироперевозок. Поэтому нормирование рейсового времени — основа решения всех задач планирования движения ПД. Из (18.1) следует, что нормирование рейсового времени представляет собой в то же время и нормирование эксплуатационной скорости.

И для пассажиров, и для транспортных предприятий выгодно максимальное повышение эксплуатационной скорости. Для первых увеличение ее означает рост скорости сообщения и уменьшение затрат времени в поездах с соответствующим снижением транспортной утомляемости;

для вторых — повышение оборачиваемости подвижного состава и рост пассажирооборота, повышение полезного использования подвижного состава для выполнения транспортной работы и уменьшение его количества, необходимого для освоения заданных пассажироперевозок. Поэтому каждое транспортное предприятие всегда изыскивает все возможности и резервы уменьшения рейсового времени и связанного с ним повышения эксплуатационной скорости.

Основными факторами, определяющими величину эксплуатационной скорости, являются:

1. Ограничения максимальной скорости движения поездов на уличных проездах, определяемые требованиями безопасности движения, планом и профилем маршрута, условиями видимости пути, окружающей застройкой (чем ниже допускаемая максимальная скорость движения поездов, тем ниже и эксплуатационная скорость).

2. Длина перегонов между остановочными пунктами (чем меньше длина перегонов, тем меньше и эксплуатационная скорость).

3. Динамические характеристики подвижного состава — ускорения при пуске и замедления при торможении (чем выше динамические показатели, тем выше и эксплуатационная скорость).

4. Время стоянки поездов на остановочных пунктах для пассажирообмена (чем больше время стоянки, тем ниже эксплуатационная скорость).

5. Мешающее влияние уличного движения, оцениваемое количеством конфликтных точек на 1 км длины маршрута и интенсивностью уличного движения, в том числе пешеходного (чем больше мешающее влияние уличного движения, тем ниже эксплуатационная скорость).

6. Частота движения на маршруте (чем выше частота движения, тем ниже эксплуатационная скорость).

7. Длина маршрута l_m (чем длиннее маршрут, тем сравнительно меньше удельный вес времени отстоя поездов на конечных станциях и выше эксплуатационная скорость).

8. Требования к регулярности движения (чем выше требуемая регулярность, тем ниже эксплуатационная скорость).

Определяющее значение для ПД имеет связь эксплуатационной скорости с регулярностью движения.

Регулярное движение — это движение с равными интервалами между поездами $t_n = \text{const}$ в любой точке транспортной сети или маршрута. Если при этом устанавливается (нормируется) определенное время прохождения поездов через контрольные точки сети, то движение называют *связанным*, если не нормируется — *свободным*. Регулярное движение на маршруте может быть изображено схемой рис. 18.1, а при $t_n = \text{const}$.

Примем скорость подхода пассажиров к остановкам постоянной и равной $dn_{\text{пасс}}/dt = \text{const}$, где $n_{\text{пасс}}$ — количество пассажиров, подходящих к остановке для посадки (рис. 18.1, г). Тогда за время t_n на остановках будет накапливаться пассажиров:

$$n_{\text{пасс}} = \int_0^{t_n} \frac{dn_{\text{пасс}}}{dt} dt = \frac{dn_{\text{пасс}}}{dt} t_n. \quad (18.2)$$

Площади треугольников с основанием t_n будут изображать собой человеко-минуты ожидания пассажирами очередного поезда:

$$t_{\text{ожз}} = n_{\text{пасс}} (t_n/2). \quad (18.3)$$

Вследствие неравномерности подхода пассажиров к остановкам, разного пассажирооборота остановочных пунктов и изменяющейся транспортной ситуации на уличных проездах интервалы между поездами меняются, причем при увеличении интервала растет время ожидания пассажирами очередного поезда и время его стоянки на остановочном пункте для пассажирообмена. Если, например, как показано на рис. 18.1, д, интервал t_n увеличится вдвое, то вдвое возрастет и время ожидания пассажирами очередного поезда, и количество запросов на посадку. Чтобы их удовлетворить, поезду придется задержаться на остановке, в результате чего еще больше увеличится отрыв его от идущего впереди поезда. В результате у оторвавшихся поездов нарастает время опоздания и за ними накапливаются другие поезда, образуя пачки, как показано на рис. 18.1, б. Головные поезда в таких пачках переполнены, а хвостовые пустые. Вначале образуется несколько таких пачек, которые затем (если процесс движения не регулировать) сливаются в одну пачку, как показано на рис. 18.1, в. Движение по схеме рис. 18.1, в может быть названо предельно нерегулярным. Практически его не допускают никогда.

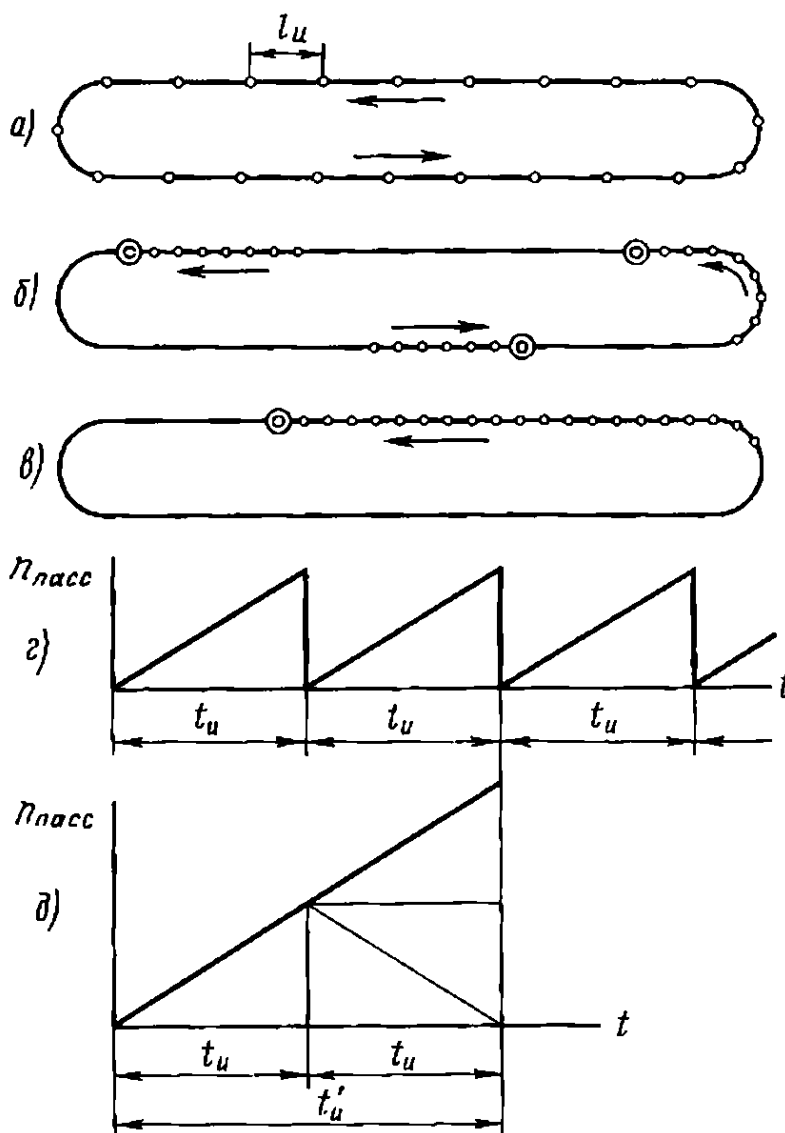


Рис. 18.1

Схемы регулярного (а), нерегулярного с образованием пачек поездов (б) и предельно нерегулярного (в) движения поездов на маршруте; накопления пассажиров на остановочных пунктах при постоянной скорости подхода и регулярном движении с равными интервалами (г) и при увеличении маршрутного интервала (д)

Таким образом, причинами нарушения регулярности движения являются помехи, создаваемые пешеходными и транспортными потоками при работе подвижного состава ГМПП на улицах общего пользования, задержки у светофоров, а также неравномерный подход пассажиров к остановкам, связанный с колебаниями пассажиропотоков, и переполнение поездов пассажирами при нарушениях регулярности движения.

Если в этих условиях рассчитать движение по критерию минимума рейсового времени, т. е. максимуму ходовой скорости на перегонах без выбега, то при любом сбое движения нерегулярность его будет нарастать и движение поездов по расписанию станет невозможным. Для нагона опозданий при сбоях движения необходимо иметь резерв времени, т. е. увеличивать рейсовое время в ущерб скорости сообщения и эксплуатационной скорости. В кривых движения для этого предусматривают выбег, доля которого оценивается коэффициентом выбега η , представляющим собой отношение времени выбега t_n ко всему времени движения поезда по перегону — ходовому времени t_h [см. (3.15) и рис. 3.4]. Чем больше коэффициент выбега, тем больше возможности нагона опозданий в пределах допустимых скоростей движения, но зато ниже скорость сообщения и эксплуатационная скорость.

Таким образом, задача нормирования рейсового времени и эксплуатационной скорости оказывается тесно связанной с нормированием регулярности движения. Минимизация рейсового времени сводится к минимизации коэффициента выбега по критерию регулярности движения. Чем выше требования регулярности движения, тем больше должен быть коэффициент выбега и ниже эксплуатационная скорость.

Факторы сбоя регулярности движения носят случайный характер. Поэтому задача минимизации рейсового времени может быть решена только методами теории вероятностей и математической статистики.

При регулярном движении поездов время прохождения любой точки маршрута каждым последующим поездом отличается от времени прохождения этой точки предыдущим поездом на величину интервала движения t_n . Если время прохождения какой-либо точки маршрута первым поездом $t_1 = t_0$, где t_0 — заданное время по расписанию, то время прохождения этой же точки поездами вторым, третьим и т. д.

$$t_1 = t_0, t_2 = t_1 + t_n, t_3 = t_2 + t_n, \dots$$

При нерегулярном движении

$$\begin{aligned} t'_1 &= t_0 \pm x_1 = t_1 \pm x_1; \\ t'_2 &= t_1 + t_n \pm x_2 = t_2 \pm x_2; \\ t'_3 &= t_2 + t_n \pm x_3 = t_3 \pm x_3; \\ &\dots \end{aligned}$$

где x — отклонения от заданного времени прохождения поездами рассматриваемой точки маршрута (положительные отклонения x называются *опозданиями*, отрицательные — *нагоном*).

При движении поездов по расписанию (связанном) регулярность движения нужно было бы оценивать суммой или средней величиной нагонов и опозданий поезда по всем остановочным пунктам маршрута. Практически же фиксацию нагонов и опозданий производят только на конечных станциях и иногда (при интенсивном движении) на промежуточных станциях маршрутов, а регулярность движения оценивают отклонениями движения по времени только через распорядительную станцию. Фиксация нагонов и опозданий на технической и промежуточных станциях имеет целью регулирование движения с тем, чтобы соответствовало расписанию время прохождения поездов через распорядительную станцию.

Регулярный рейс — это рейс, выполненный по расписанию с допускаемыми отклонениями рейсового времени. На маршрутах с нормальным интервалом более 2 мин регулярным считают движение с отклонениями рейсового времени от -1 до $+2$ мин; на маршрутах с нормальным интервалом менее 2 мин — движение с отклонениями рейсового времени не более ± 1 мин.

Регулярность θ движения на маршруте, в районе движения и на транспортной сети в целом оценивают процентом регулярных рейсов n_p по отношению к общему количеству выполненных рейсов n :

$$\theta = (n_p/n) 100. \quad (18.4)$$

Фактически отклонения рейсового времени от номинального, установленного расписанием, подчиняются закону нормального распределения [см. рис. 3.7 и (3.43)].

Наибольшую частоту (повторяемость) имеют рейсы регулярные и нерегулярные с небольшими отклонениями x . Нерегулярные рейсы с большими отклонениями рейсового времени от заданного расписанием менее вероятны. Если на кривой распределения отметить допускаемые отклонения рейсового времени — x_n (нагон) и $+x_{on}$ (опоздание), то в область допускаемых отклонений, заштрихованную на рис. 3.7, попадает большинство рейсов.

Однако форма кривой распределения отклонений рейсового времени может значительно меняться в разных условиях движения. С ростом мешающих влияний дисперсия (разброс) фактических значений рейсового времени увеличивается, среднее квадратическое отклонение σ (мера дисперсии) возрастает. Сравнивая кривые 1 и 2 (см. рис. 3.7), из которых кривая 1 характерна для распределений с малой дисперсией и кривая 2 — для распределений с большой дисперсией, легко заметить, что количество рейсов, выходящих за область регулярности с ростом дисперсии рейсового времени возрастает.

При наличии статистических данных регулярность движения (количество регулярных рейсов по отношению к общему количеству выполненных) определяется интегралом вероятностей:

$$\theta = \int_{-x_n}^{+x_{on}} f(x) dx = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{-x_n}^{+x_{on}} e^{-(x-M)^2/2\sigma^2} dx. \quad (18.5)$$

Среднее квадратическое отклонение σ кривой распределения рейсового времени является функцией коэффициента выбега $\eta_{\text{в}}$. Чем меньше коэффициент выбега, тем в тех же условиях дорожного движения больше σ , кривая распределения больше вытянута по оси x и при тех же величинах x_n и $x_{\text{н}}$ ниже коэффициент регулярности.

Таким образом, нормирование рейсового времени может быть произведено методами математической статистики. Однако они весьма трудоемки, так как требуют определения характеристик кривых распределения по достаточно большому количеству наблюдений. В транспортных хозяйствах предпочитают применять методы хронометражного нормирования рейсового времени, которые менее трудоемки, но дают достаточную точность и гарантируют учет всех факторов, влияющих на рейсовое время.

Нормирование рейсового времени проводят для всех периодов суток, отличающихся условиями движения (пассажиропотоком, интенсивностью дорожного движения, освещенностью и т. д.): часов пик, периода спада пассажироперевозок между часами пик и часов дежурного движения (ранних утренних и поздних вечерних часов спада пассажироперевозок). Для каждого рассматриваемого периода хронометрируют 10 рейсов, из них выбирают три с максимальным рейсовым временем и за нормируемое рейсовое время принимают их среднее арифметическое, которое и закладывают в расписание движения. Соответствующую ему эксплуатационную скорость заданного движения определяют по формуле (18.1). Фактическую эксплуатационную скорость исполненного движения вычисляют по отчетным характеристикам — выполненным вагоно-километрам (ВКМ) и вагоно-часам (ВЧ) работы подвижного состава на линии как их отношение:

$$v_3 = \text{ВКМ} / \text{ВЧ}. \quad (18.6)$$

§ 18.2. Расчет потребности в подвижном составе для обслуживания пассажироперевозок

Пассажиропотоки в сетях ГМПП меняются по часам суток, дням недели, месяцам и сезонам года, районам движения, маршрутам и направлениям движения на маршрутах. Для обеспечения оптимального наполнения подвижного состава соответственно колебаниям пассажиропотоков должно меняться количество, вместимость и распределение подвижного состава по транспортной сети. Идеальным было бы непрерывное корректирование распределения подвижного состава по маршрутам во времени в соответствии с непрерывно меняющимся спросом на пассажироперевозки так, чтобы на любом перегоне любого маршрута постоянно выдерживалось равенство между запросом на пассажироперевозки в пассажиро-километрах и их обеспечением в место-километрах. Однако возможности такого регулирования распределения подвижного состава могут обеспечить только транспортные системы с ОД по запросам на пассажироперевозки. Для всех традиционных систем МПП применяют опережающее дискретное планирование распределения подвижного состава по маршрутам, основу которого составляют:

1) опережающая разработка плана движения (распределения подвижного состава по маршрутам) на базе натурных обследований пассажиропотоков за аналогичные предыдущие периоды времени;

2) дискретное регулирование распределения подвижного состава по маршрутам во времени. Элемент времени, в течение которого сохраняется неизменное распределение подвижного состава, принимается в расчетах движения обычно равным 1 ч;

3) оперативное корректирование распределения подвижного состава по маршрутам двух типов: а) плановое, учитывающее повторяющиеся перераспределения пассажироперевозок по маршрутам, участкам и направлениям маршрутов во времени; б) неплановое при случайных отклонениях транспортной ситуации от запланированной вследствие, например, изменения погодных условий или других причин.

При любой системе опережающего планирования условие равенства обеспечения пассажироперевозок их запросам может быть выдержано только с той или другой степенью приближения, благодаря чему неизбежно ухудшается качество перевозок или использование подвижного состава по вместимости. Однако эти последствия могут быть сглажены правильным планированием выпуска подвижного состава на линию и регулированием движения.

Необходимость расчета потребности в подвижном составе для обслуживания пассажироперевозок в действующих транспортных хозяйствах может возникнуть для обоснования этой потребности. В результате этого расчета должно быть определено требуемое количество подвижного состава и его вместимость. В отличие от проектного расчета подвижного состава для новых городов или при расширении действующих транспортных предприятий [когда потребность в нем определяют по расчетному среднесуточному пассажиропотоку или расчетному пассажиропотоку в условный час пик (см. § 13.3)] потребность в подвижном составе действующих транспортных предприятий устанавливают по результатам фактического натурального обследования пассажироперевозок по всем часам периода движения. Последний начинается обычно в 5 ч утра и продолжается до 1 ч ночи, т. е. составляет порядка 20 ч в сутки. В периоде движения наблюдается резкая неравномерность пассажироперевозок по часам суток (см. § 12.8), позволяющая выделить в нем (рис. 18.2) часы максимальной нагрузки (часы пик) 2 и 4 (утренний и вечерний), часы спада пассажироперевозок между часами пик 3 и часы дежурного движения 1 и 5 — ранние утренние и поздние вечерние часы, во время которых потребность в подвижном составе определяется не объемом пассажироперевозок, а допускаемыми максимальными интервалами между поездами.

Потребность в подвижном составе устанавливают по всем часам или для характерных часов всех периодов движения. Для этого по картограммам фактических часовых пассажироперевозок определяют эти характерные часы (прежде всего час максимальной нагрузки транспортной сети), так как часы пик на разных маршрутах не совпадают во времени. Колебания пассажиропотоков по часам периода движения показаны на рис. 18.2 сплошными линиями, а соответствующие им колебания выпуска подвижного состава — пунктирными линиями.

Потребность в подвижном составе рассчитывают по всем маршрутам транспортной сети по критериям равенства запросов на пассажиро-перевозки их обеспечению пассажирскими местами в подвижном составе и получения заданных маршрутных интервалов. При заданном или принятом маршрутном интервале t_n (или интенсивности движения J_m на маршруте, поскольку $t_n = 1/J_m$) требующуюся вместимость m_p и количество подвижного состава на маршруте $N_{дв}$ определяют уравнениями:

$$m_p = F_{i_{\max}}/J_{mi} = F_{i_{\max}} t_n; \quad (18.7)$$

$$N_{дв} = 2l_{mi}/(v_s t_n) = t_p/t_n, \quad (18.8)$$

где l_m — длина маршрута; v_s — эксплуатационная скорость на нем; t_p — рейсовое время работы подвижного состава на маршруте.

Требующаяся вместимость подвижного состава определяется маршрутным интервалом. Минимальный маршрутный интервал (в часы пик) принимают обычно равным 2 мин, максимальный (в часы дежурного движения) — 7—8 мин (не более 10 мин) и в часы спада пассажиро-перевозок (между часами пик) 4—5 мин. Найденная при этом по (18.7) вместимость подвижного состава должна быть округлена до ближайшей большей, обеспеченной имеющимся типажом подвижного состава.

В результате расчета по (18.7) и (18.8) находят потребность в подвижном составе для всех маршрутов во все характерные часы периода движения, которую затем минимизируют по критерию оптимального сочетания требующегося подвижного состава разных вместимостей. В принципе наилучшим следует считать решение, когда и в часы дежурного движения, и в остальные часы периода движения, включая часы пик, используют подвижной состав минимальной вместимости, работающий в часы дежурного движения одиночками, а в часы пик и спада пассажиро-перевозок между часами пик — поездами по системе многих единиц. Требуемый инвентарный парк подвижного состава определяют с

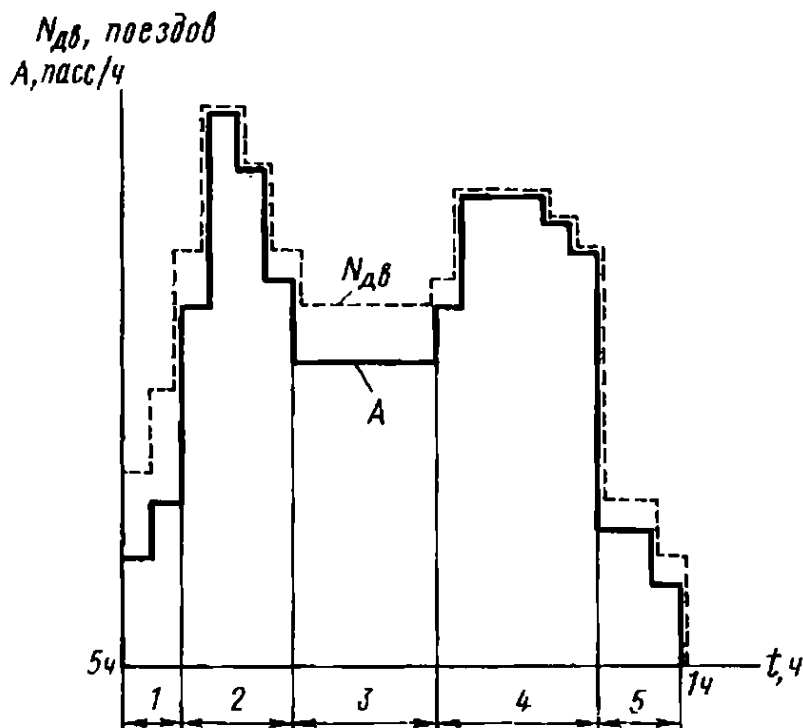


Рис. 18.2

Часовая неравномерность пассажиро-перевозок по периодам движения

учетом коэффициента выпуска (использования подвижного состава по выпуску) α_v :

$$N_{11} = N_{дв} / \alpha_v. \quad (18.9)$$

Пример. Участок транспортной сети состоит из маршрутов 1 и 2, характеристики которых и результаты расчета вместимости и количества подвижного состава, требующегося для освоения пассажироперевозок, приведены в табл. 18.1, где ЧП — часы пик; СП — часы спада пассажироперевозок между часами пик; ДД — часы дежурного движения.

Таблица 18.1

Характеристики маршрутов	Номера маршрутов	
	1	2
Длина l_m , км	11,0	8,0
Максимальный расчетный пассажиропоток $F_{\max}$, тыс. пасс/ч	ЧП СП ДД	4,0 2,0 1,0 6,0 3,0 1,5
Рейсовое время t_p , мин	ЧП СП ДД	88 82 78 64 60 56
Требуемая вместимость m_p подвижного состава при маршрутном интервале $t_{ин}$, мин	ЧП, 2 СП, 5 ДД, 7	133 167 117 200 250 175
Маршрутные интервалы, соответствующие вместимости $m_p = 100 \cdot n$ при составности поездов, мин	ЧП СП ДД	2 · 100 3 мин 1,5 · 100 4,5 мин 1 · 100 6 мин 2 · 100 2 мин 2 · 100 4 мин 1 · 100 4 мин
Требуемое количество подвижного состава для $m_p = 100n$	ЧП СП ДД	29,3 · 2 = 59 18,3 · 1,5 = 28 13 · 1 = 13 31 · 2 = 64 15 · 2 = 30 14 · 1 = 14

Требуемая вместимость подвижного состава маршрутов определена по (18.7). Полученные вместимости не совпадают между собой (находясь в интервале от 117 до 250 мест). Такое разнообразие вместимостей подвижного состава неприемлемо.

Принято решение проверить возможность использования на маршрутах поездов из вагонов вместимостью 100 пассажиров ($m_p = 100n$, где n — количество вагонов в поезде). Интервалы движения проверяются по формуле, вытекающей из (18.7):

$$t_k = m_p / F_{i \max}. \quad (18.10)$$

Составность $n=1,5$ означает работу на маршруте пропускаемых через один одновагонных и двухвагонных поездов. Полученные этим расчетом маршрутные интервалы лежат в пределах 2—6 мин, что обеспечивает высокую частоту движения на маршрутах в продолжение всего периода движения. Требующееся количество подвижного состава рассчитывают по (18.8). Для обеспечения пассажироперевозок на маршрутах 1 и 2 хозяйство должно иметь $59 + 64 = 123$ вагона в движении и в инвентаре (при коэффициенте выпуска $\alpha_s = 0,9$)

$$N_{\text{н}} = N_{\text{дв}}/\alpha_s = 123/0,9 = 137 \text{ вагонов.}$$

Применяют и другие методики расчета потребности в подвижном составе. В частности, в Управлении пассажирского транспорта Мосгорисполкома (УПТМ) потребность в подвижном составе рассчитывают для всех часов периода движения с учетом не только среднечасовой максимальной нагрузки на маршрутах, но и внутрисетевой неравномерности, а также ожидаемых отклонений фактически выполняемой транспортной работы от плановой:

$$N_{\text{дв}i} = F_{i\text{макс}} t_p k_{\text{вчн}}/(m_p k_Q), \quad (18.11)$$

где $F_{i\text{макс}}$ — максимальный пассажиропоток на наиболее загруженном участке или перегоне i -го маршрута; t_p — рейсовое время; m_p — расчетная вместимость подвижного состава; $k_{\text{вчн}}$ — коэффициент внутрисетевой неравномерности пассажиропотоков; k_Q — коэффициент надежности, определяемый как отношение фактически выполненной транспортной работы к планируемой (в нормальных условиях равен 0,93—0,99).

При определении ориентировочной максимальной потребности в подвижном составе для часов пик на вновь организуемых маршрутах в районах новостроек, когда натурных данных об ожидаемых пассажиропотоках еще не имеется, можно использовать формулу

$$N_{\text{дв.макс}} = (0,13 \div 0,20) H t_p / m_p, \quad (18.12)$$

где $(0,13 \div 0,20)$ — величина, учитывающая общую занятость населения, режим труда в учреждениях и на предприятиях города (сменность), количество часов в периоде часов пик и распределение по ним трудовых поездок; H — численность населения рассматриваемого района города.

§ 18.3. Распределение подвижного состава по маршрутам ГМПТ

Распределение имеющегося в распоряжении транспортного хозяйства подвижного состава по маршрутам в действующих сетях производят обычно по двум критериям:

- 1) обеспечения пассажирам равноценных удобств проезда по наполнению подвижного состава на всех маршрутах;
- 2) обеспечения оптимального использования подвижного состава по наполнению и режимам эксплуатационной работы на линии.

Расчеты распределения подвижного состава по маршрутам выполняют на каждый час для всех периодов движения: часов пик, спада пассажироперевозок между часами пик и часов дежурного движения.

В часы пик на выпуск планируют весь имеющийся подвижной состав, кроме находящегося в ремонте, резерве и предназначенного для обеспе-

чения технического обслуживания (дневной осмотр) в утренние часы до начала съема подвижного состава с линии после утреннего часа пик. Необходимость оставления части подвижного состава в депо для обеспечения технического обслуживания в утренние часы связана с тем, что возврат подвижного состава в депо после утреннего часа пик начинается обычно после 10 ч утра, а работа на поточных линиях дневного осмотра (контрольно-профилактического осмотра трамвайных вагонов и троллейбусов, технического осмотра № 1 автобусов) начинается с 8 ч утра. Для обеспечения работы ремонтников с 8 до 10 ч утра, т. е. примерно в течение $\Delta T = 2$ ч, в депо нужно оставлять $\Delta N_{т.о}$ единиц подвижного состава на каждую поточную линию технического обслуживания:

$$\Delta N_{т.о} = \Delta T / \tau + 1, \quad (18.13)$$

где τ — такт поточной линии.

Если, например, $\tau = 20$ мин, то при $\Delta T = 2$ ч = 120 мин получим $\Delta N_{т.о} = 7$ поездов на каждую поточную линию технического обслуживания. Если, таким образом, в инвентаре хозяйства имеется N_n единиц подвижного состава, то на выпуск планируется в часы пик

$$N_{дв.чп} = N_n \alpha_n - \Delta N_{т.о} n_{т.о}, \quad (18.14)$$

где $n_{т.о}$ — суммарное количество поточных линий дневного технического обслуживания во всех депо или гаражах города.

Подвижной состав $N_{дв.чп}$ распределяют по маршрутам по критерию предоставления равных удобств проезда всем пассажирам, т. е. пропорционально объему транспортной работы маршрутов. Последнюю при наличии в хозяйстве достаточного количества подвижного состава желательно определять по эквивалентному пассажиропотоку:

$$N_{дв.чп} / \sum_{i=1}^M F_{э.чп} l_{mi} = N_{дв.чп i} / (F_{э.чп i} l_{mi}),$$

откуда

$$N_{дв.чп i} = N_{дв.чп} F_{э.чп i} l_{mi} / \sum_{i=1}^M F_{э.чп} l_{mi}, \quad (18.15)$$

где $F_{э.чп i}$ — эквивалентный пассажиропоток i -го маршрута в рассматриваемый час пик; $N_{дв.чп i}$ — расчетное количество подвижного состава i -го маршрута в рассматриваемый час пик, M — общее количество маршрутов на сети рассматриваемого вида ГМПТ.

Полученное таким образом распределение подвижного состава по маршрутам проверяют по наполнению на участках максимальной нагрузки (по максимальному пассажиропотоку маршрутов) и приемлемости интервалов движения.

Наполнение $m_{i \max}$ поездов на участке максимальной нагрузки $F_{чп i \max}$ i -го маршрута определяют из условия:

$$F_{чп i \max} l_{mi} = N_{дв.чп} m_{i \max} v_{э}, \quad (18.16)$$

откуда

$$m_{i \max} = F_{чп i \max} l_{mi} / (N_{дв.чп} v_{э}).$$

Аналогично среднесетевое максимальное наполнение $m_{\text{макс}}$ поездов всех маршрутов:

$$\sum_{i=1}^M F_{\text{чп}i\text{макс}} l_{mi} = N_{\text{дв.чп}} m_{\text{макс}} v_{\text{в}}, \quad (18.17)$$

откуда

$$m_{\text{макс}} = \sum_{i=1}^M F_{\text{чп}i\text{макс}} l_{mi} / (N_{\text{дв.чп}} v_{\text{в}}).$$

Имеющееся в транспортном предприятии количество подвижного состава можно считать достаточным, если его среднесетевое максимальное наполнение $m_{\text{макс}} \leq m_5$, т. е. равно наполнению из расчета заполнения всех мест для сидящих пассажиров и стоящих при коэффициенте заполнения свободной площади проходов $\alpha = 5 \text{ чел/м}^2$. Если на отдельных маршрутах расчетное максимальное наполнение $m_{i\text{макс}} > m_5$, то нужно произвести перераспределение подвижного состава по маршрутам так, чтобы выдержать условие $m_{i\text{макс}} \leq m_5$.

При большом переполнении поездов маршрутов в часы пик распределение подвижного состава по маршрутам производят не по эквивалентному пассажиропотоку маршрутов, а по максимальному пассажиропотоку $F_{i\text{макс}}$ лимитирующих участков маршрутов. Из условия предоставления пассажирам всех маршрутов равных удобств проезда

$$N_{\text{дв.чп}} / \sum_{i=1}^M F_{i\text{макс}} l_{mi} = N_{\text{дв}i\text{чп}} / (F_{i\text{макс}} l_{mi})$$

получаем

$$N_{\text{дв}i\text{чп}} = N_{\text{дв.чп}} F_{i\text{макс}} l_{mi} / \sum_{i=1}^M F_{i\text{макс}} l_{mi}. \quad (18.18)$$

По (18.15) и (18.18) рассчитывают распределение по маршрутам *приведенного* (по вместимости) *количества подвижного состава* $N_{\text{дв}}$, которое имеет то же суммарное количество пассажирских мест (в тех же условиях наполнения), что и фактический подвижной состав в количествах $N_{\text{пв}1}$, $N_{\text{пв}2}$, ..., имеющий вместимость соответственно m_1 , m_2 , ... :

$$N_{\text{дв}} m_p = N_{\text{дв}1} m_1 + N_{\text{дв}2} m_2 + \dots + N_{\text{дв}n} m_n = \sum_{k=1}^n N_{\text{дв}k} m_k, \quad (18.19)$$

где $N_{\text{дв}k}$ — расчетное количество в движении подвижного состава с расчетной вместимостью m_k .

Фактическое количество подвижного состава, передаваемого на маршрут, определяется фактической вместимостью подвижного состава, имеющегося в распоряжении транспортного хозяйства, и желательными интервалами движения. При заданном маршрутном интервале t , требующееся на маршрут количество подвижного состава определяется формулой (18.8). На маршруте желательно использовать однотипный подвижной состав. В этом случае условие равенства пассажирских мест приведенного подвижного состава с вместимостью m_p и найденного по (18.8) с вместимостью m_n запишется в виде:

$$N_{\text{дв}} m_p = N_{\text{дв.н}} m_n,$$

откуда

$$m_{\text{н}} = N_{\text{дв}} m_{\text{р}} / N_{\text{дв.н}} \quad (18.20)$$

Расчетная вместимость $m_{\text{н}}$, найденная по (18.20), в общем случае не совпадает с фактически имеющейся в хозяйстве. Поэтому результаты расчета требуют корректировки. На маршрут назначают подвижной состав с вместимостью, близкой к $m_{\text{н}}$, и затем проверяют обеспечиваемые им маршрутные интервалы. В случаях, когда на маршрут назначают несколько типов подвижного состава разной вместимости, для определения общего его количества используют формулу (18.19).

Выбор вместимости поездов маршрутов могут лимитировать не только маршрутные, но и сетевые интервалы. Сетевой интервал не должен быть меньше допускаемого пропускной способностью остановочных пунктов и других лимитирующих точек транспортной сети. При недопустимо малых сетевых интервалах нужно соответственно увеличивать маршрутные интервалы или продумать другие мероприятия, например частично изменить маршрутную систему.

В часы спада пассажироперевозок при расчете требуемого количества подвижного состава ориентируются на оптимальное наполнение поездов, если это допускается условиями организации технического обслуживания подвижного состава. Оптимальным следует считать наполнение $m_{\text{с}}$, когда все места для сидения заняты, а вынужденных стоять пассажиров нет или, в крайнем случае (при недостатке подвижного состава), наполнение m_3 или m_4 из расчета занятости всех мест для сидящих пассажиров и стоящих при коэффициенте заполнения свободной площади пассажирских салонов $\alpha = 3 \div 4$ чел/м².

Фактически в настоящее время за нормальное считают наполнение m_5 при $\alpha = 5$ чел/м², что нельзя признать удовлетворительным по условиям пассажирской комфортабельности. Общее (суммарное по всей сети) количество подвижного состава, требуемого для обслуживания пассажироперевозок в часы спада, определяют по эквивалентному пассажиропотоку маршрутов из условия равенства запросов на пассажироперевозки их обеспечению пассажирскими местами:

$$\sum_{i=1}^M F_{\text{эл}} l_{\text{М}i} = N_{\text{дв.сп}} m_{\text{с}} v_{\text{в}},$$

откуда

$$N_{\text{дв.сп}} = \sum_{i=1}^M F_{\text{эл}} l_{\text{М}i} / (m_{\text{с}} v_{\text{в}}). \quad (18.21)$$

Расчет распределения подвижного состава между маршрутами в часы спада по наполнению $m_{\text{с}}$ или m_3 допустимо при соблюдении условия

$$N_{\text{дв.чп}} - N_{\text{дв.сп}} \geq N_{\text{т.о}}, \quad (18.22)$$

где $N_{\text{т.о}}$ — количество подвижного состава, отправляемого в часы спада пассажироперевозок в депо на техническое обслуживание.

Иначе говоря, расчет распределения подвижного состава в часы спада по нормальному наполнению $m_{\text{с}}$ или m_3 допустим только в случае, если

он не мешает нормальной организации технического обслуживания подвижного состава. Из общего количества $N_{\text{дв.чп}}$ подвижного состава, работающего на линии в часы пик, в часы спада на линии оставляют $N_{\text{дв.сп}}$, на техническое обслуживание в депо отправляют $N_{\text{т.о}}$ и на отстой в депо или отстойные площадки конечных станций маршрутов

$$N_{\text{отс}} = N_{\text{дв.чп}} - N_{\text{дв.сп}} - N_{\text{т.о}}. \quad (18.23)$$

Количество подвижного состава, требующееся для обслуживания пассажироперевозок i -го маршрута, находят по формуле

$$N_{\text{дв.сп}} = F_{\text{эл}} l_{\text{мл}} / (m_c v_{\text{э}}). \quad (18.24)$$

Если в транспортном хозяйстве подвижного состава не хватает, то в часы спада на линию отправляют количество подвижного состава, равное

$$N_{\text{дв.сп}} = N_{\text{дв.чп}} - N_{\text{т.о}}. \quad (18.25)$$

Соответствующее этому выпуску наполнение поездов на маршрутах определяют по эквивалентному пассажиропотоку:

$$F_{\text{эл}} l_{\text{мл}} = (N_{\text{дв.чп}} - N_{\text{т.о}}) m v_{\text{э}}, \quad (18.26)$$

откуда

$$m = F_{\text{эл}} l_{\text{мл}} / (N_{\text{дв.чп}} - N_{\text{т.о}}) v_{\text{э}}.$$

В часы дежурного движения количество подвижного состава маршрутов рассчитывают по максимальному допустимому интервалу движения $t_{\text{н. макс}}$, ограниченному Правилами технической эксплуатации (ПТЭ). Обычно $t_{\text{н. макс}} \leq 10$ мин. Требующееся при этом количество подвижного состава, работающего на маршрутах, определяют по формуле

$$N_{\text{дв. мин}} = 2l_{\text{м}} / v_{\text{э}} t_{\text{н. макс}} = t_{\text{р}} / t_{\text{н. макс}}. \quad (18.27)$$

При таком выпуске может получиться низкий коэффициент использования подвижного состава по вместимости. В этом случае на линию следует выпускать поезда небольшой вместимости.

Практические рекомендации по распределению подвижного состава между маршрутами транспортной сети можно обобщить в следующих основных положениях:

1. Чем равномернее пассажиропоток по длине маршрутов, тем меньшим количеством подвижного состава можно освоить заданные пассажироперевозки при лучшем качестве транспортного обслуживания. Поэтому распределение подвижного состава по маршрутам в действующих транспортных сетях ГМПТ должно основываться на данных натурных обследований пассажироперевозок, быть неразрывно связано с составлением и корректированием маршрутной системы, с регулированием пассажиропотоков во времени путем раздвижки времени начала и окончания работы предприятий и другими приемами.

2. Если внутри расчетного часового интервала наблюдаются резкие колебания пассажиропотоков, то их нужно снять регулировочными

мероприятиями: усилением движения за счет концентрации подвижного состава маршрута на его отдельных участках, отправки части поездов в укороченные рейсы и т. д. Если это удастся, то за расчетный пассажиропоток маршрута можно принимать его средний или эквивалентный пассажиропоток, если нет — то максимальный пассажиропоток наиболее загруженного участка, хотя это и связано со снижением коэффициента использования подвижного состава по наполнению.

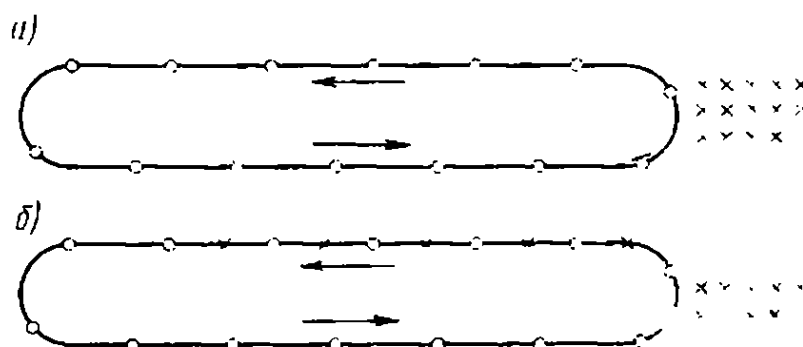
3. На маятниковых маршрутах за расчетный часовой пассажиропоток принимают удвоенный пассажиропоток наиболее нагруженного направления. Одним из способов перераспределения подвижного состава по направлениям маршрута в соответствии с неравномерностью пассажиропотоков является накапливание его к началу расчетного периода на отстойных путях одного из конечных пунктов маршрута (рис. 18.3) для последующего выпуска с укороченными интервалами в загруженном направлении (рис. 18.3, б). На рис. 18.3, а, б поезда, обращающиеся на маршруте к рассматриваемому расчетному периоду, обозначены кружочками, накапливаемые к выпуску в рассматриваемый расчетный период, — крестиками.

4. Распределение подвижного состава по маршрутам должно быть таким, чтобы расчетный маршрутный интервал между поездами находился в пределах $t_{и, макс} - t_{и, мин}$: максимальный интервал ограничивается допустимыми затратами времени пассажиров на ожидание транспорта и должен быть не более 10 мин; минимальный интервал ограничивается пропускной способностью лимитирующих точек транспортной сети, условиями обеспечения надежной регулярности и безопасности движения. Практически принимают $t_{и, мин} = 2$ мин. Регулирование величины расчетного интервала движения производят соответствующим выбором вместимости подвижного состава, обслуживающего маршрут. Для увеличения интервалов, когда они по расчету получаются меньше $t_{и, мин}$, на маршруты с интенсивным движением нужно направлять подвижной состав большей вместимости, сочлененные или многовагонные поезда, работающие по системе многих единиц. Для уменьшения интервалов, когда они по расчету превышают $t_{и, макс}$, на маршруты нужно назначать подвижной состав небольшой вместимости.

5. Принципы пропорционального распределения подвижного состава по маршрутам не учитывают ряда особенностей пассажироперевозок, влияющих на народнохозяйственную эффективность работы ГМПТ: характер перевозок (трудовые, культурно-бытовые), среднюю длину поездок в разные периоды суток, место маршрутов в транспортной

Рис. 18.3

Накапливание подвижного состава на конечной станции маршрута (а) и его выпуск на маршрут к расчетному часу пик пассажироперевозок на нагруженное направление (б)



системе города (основные, вспомогательные) и т. д. Все эти факторы могут быть учтены введением к распределению подвижного состава по маршрутам поправочных коэффициентов. С учетом последних распределение подвижного состава по маршрутам может производиться по формуле

$$N_{дв i} = (N_{дв} F_i l_{ми} / \sum F_i l_{ми}) (k_i / \sum k_i), \quad (18.28)$$

где k_i — коэффициент ответственности i -го маршрута.

6. При распределении подвижного состава по маршрутам должен предусматриваться такой возврат поездов в депо в часы спада пассажироперевозок, который необходим для обеспечения своевременного технического обслуживания подвижного состава.

7. Маршруты, в особенности с запрещенным или затрудненным обгоном транспорта (трамвайные, троллейбусные, иногда автобусные), нужно комплектовать подвижным составом с одинаковыми динамическими характеристиками, так как это способствует повышению эксплуатационной скорости и регулярности движения.

8. На маршруты с большой неравномерностью пассажиропотоков по часам дня целесообразно назначать подвижной состав меньшей вместимости, а на маршруты с равномерным пассажиропотоком по часам дня — подвижной состав большей вместимости. Это способствует повышению коэффициента использования вместимости подвижного состава маршрутов. Для регулирования наполнения подвижного состава по часам дня целесообразно обслуживать маршруты двумя типами подвижного состава разной вместимости, но с близкими динамическими характеристиками. При этом подвижной состав малой вместимости назначают для обслуживания перевозок в течение всего периода движения, а подвижной состав большей вместимости — в часы пик. В часы спада нагрузки на маршруте поезда большой вместимости можно заменить поездами малой, высвобождающимися на других маршрутах. При обслуживании маршрутов поездами из нескольких вагонов, работающих по системе многих единиц, удобно регулировать наполнение подвижного состава по часам дня изменением составности поездов при сохранении оптимальных маршрутных интервалов, т. е. количества поездов, работающих на маршруте.

Регулировочные мероприятия (назначение экспрессных маршрутов, укороченных рейсов, организация взаимопомощи маршрутов, т. е. передачи части подвижного состава с маршрута на маршрут при несовпадении на них часов пик) эквивалентны условному высвобождению части подвижного состава, обслуживающего пассажироперевозки. С учетом этого распределение подвижного состава по маршрутам в часы максимальной нагрузки транспортной сети можно производить по максимальному пассажиропотоку маршрутов с учетом коэффициента дефицита (избытка) подвижного состава, который для часа максимальной нагрузки транспортной сети определяют по формуле

$$k_d = \frac{N_{дв. макс(ф)}}{\sum N_{дв/макс(р)} - \{(N_{дв. макс(ф)} / \sum N_{дв/макс(р)}) \sum (N_{в} + N_{у} + N_{вп})\}}, \quad (18.29)$$

где $N_{\text{дв. макс (ф)}}$ — максимальный выпуск, который транспортное предприятие может обеспечить в час максимальной нагрузки транспортной сети фактически; $\sum N_{\text{дв. макс (р)}}$ — требующийся расчетный выпуск подвижного состава на маршруты в час максимальной нагрузки транспортной сети, обеспечивающий нормальные условия проезда пассажирам по наполнению; N_z , N_y , $N_{\text{вп}}$ — количество подвижного состава, условно высвобождающегося на маршрутах соответственно в результате перевода части их на режим экспрессной или полуэкспрессной работы (в общем случае — в результате повышения скоростей движения), ввода укороченных рейсов и организации взаимопомощи маршрутов.

С учетом коэффициента дефицита k_d максимальный выпуск подвижного состава на i -й маршрут определяют по формуле

$$N_{\text{дв макс (ф)}} = N_{\text{дв макс (р)}} k_d. \quad (18.30)$$

§ 18.4. Расчеты потребности в подвижном составе и распределения его по маршрутам

с использованием экономико-математических методов и ЭВМ

Методики расчета потребности в подвижном составе по критерию равенства запросов на пассажироперевозки их обеспечению пассажирскими местами (см. § 18.2) и распределения его по маршрутам (§ 18.3) не учитывают вероятностного характера перевозочного процесса и поэтому не обеспечивают оптимального решения поставленных задач. В связи с этим в последние годы большое внимание уделяют разработке вероятностных моделей перевозочного процесса вообще и решения различных задач планирования движения в частности. Большие возможности изучения особенностей функционирования систем ГМПТ с учетом вероятностного характера перевозочного процесса дает метод статистического моделирования систем на ЭВМ. Статистическое моделирование позволяет изучать всевозможные варианты перевозочного процесса и находить статистические характеристики его основных параметров, которые используются затем для решения других задач, в частности задачи расчета потребности в подвижном составе и распределения его по маршрутам.

На рис. 18.4 приведена схема алгоритма статистического моделирования перевозочного процесса на маршруте, разработанного НИИАТ [7]. Исходными данными для этого расчета являются: время оборотного рейса, математические ожидания и средние квадратические отклонения моментов прибытия поездов на контрольные пункты; количество и характеристики перегонов между контрольными пунктами; количество и вместимость используемых на маршруте поездов; матрица вероятностей поездок пассажиров между остановочными пунктами маршрута; интенсивность прибытия пассажиров на остановочные пункты; принятые закономерности (вид распределения прибытий пассажиров на остановочные пункты, распределения длительности посадки-высадки на остановочных пунктах и др.).

В процессе моделирования последовательно рассчитывают распределения и математические ожидания интервалов между поездами

на маршруте; формируют случайные моменты прибытия поездов на остановочные пункты; в соответствии с матрицей вероятностей поездов для остановочных пунктов посадки выбирают матрицы остановочных пунктов высадки; в соответствии с принятым распределением моделируют случайные моменты подхода пассажиров к остановочным пунктам посадки; рассчитывают запрос на посадку (количество пассажиров, ожидающих посадки), формирующийся за время маршрутного интервала; определяют наполнение поезда после завершения посадки-высадки и количество отказов пассажирам в посадке на остановочном пункте по критерию переполнения.

По результатам расчета определяют при принятом количестве подвижного состава на маршруте вероятность отказа пассажирам в посадке $P_{отк}$, которую понимают как удельное количество пассажиров, лишенных возможности войти в переполненные вагоны на остановках или обслуженных транспортом при наполнении вагонов, превышающем нормативное, а также такие вероятностные характеристики пассажироперевозок, как распределение наполнения поездов на остановочных пунктах, распределение пассажирооборота остановочных пунктов, распределение времени ожидания пассажирами поездов на остановочных пунктах и др. Алгоритм допускает варьирование исходными данными, в результате чего может быть найдено, в частности, количество подвижного состава, соответствующее заданным характеристикам пассажироперевозок на маршруте.

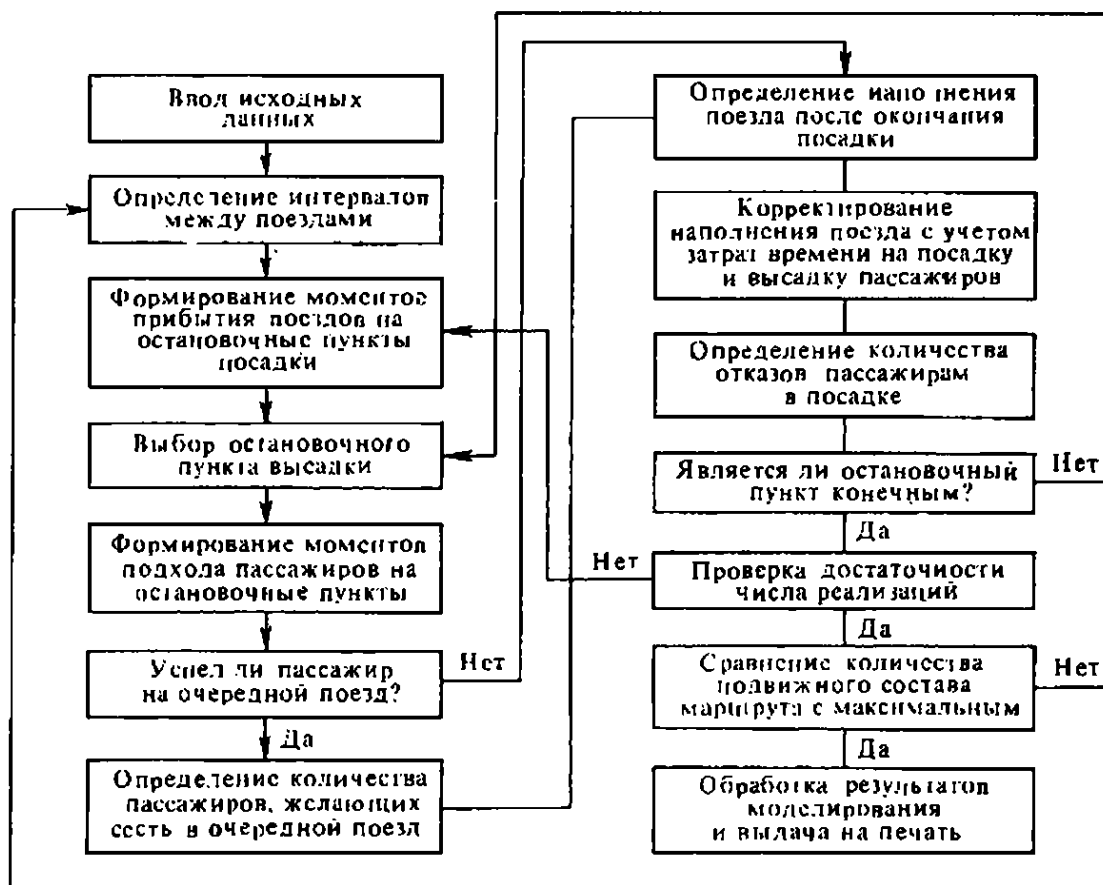


Рис. 18.4

Схема алгоритма статистического моделирования перевозочного процесса на маршруте

Для определения потребности транспортных предприятий в подвижном составе и распределения его по маршрутам НИИАТ предложил алгоритм, учитывающий зависимость между количеством подвижного состава на маршрутах и вероятностью отказа пассажирам в посадке.

Вероятность отказа пассажирам в посадке $P_{отк}$ зависит от интенсивности движения и ряда других характеристик маршрутов. В функции количества подвижного состава на маршрутах ее определяют методом статистического моделирования на ЭВМ по алгоритму (рис. 18.4).

Отказы пассажирам в посадке и превышения расчетного максимального наполнения неизбежны при любом количестве подвижного состава на линии (из-за случайного подхода пассажиров к остановкам, случайных отклонений маршрутного интервала от заданного расписанием и других причин), но с ростом количества подвижного состава и соответствующего снижения маршрутных интервалов вероятность отказа $P_{отк}$ уменьшается. В результате зависимость $P_{отк}(N_{дв})$ получает гиперболический характер, причем различный на маршрутах с разной транспортной ситуацией (рис. 18.5). В зависимости от характеристик последней она может быть сравнительно пологой (кривая 1) или крутой (кривые 2 и 3). Соответственно задача расчета потребности транспортного хозяйства в подвижном составе сводится к выбору такого количества подвижного состава, которое обеспечит достаточный уровень качества транспортного обслуживания для большинства пассажиров, т. е. малую вероятность отказа в посадке.

Аналогично задача распределения выбранного количества подвижного состава между маршрутами может трактоваться как задача такого его распределения, которое обеспечит одинаковый показатель качества транспортного обслуживания для всех маршрутов, т. е. одинаковую вероятность отказа в посадке для пассажиров всех маршрутов. Обе задачи относятся к классу комбинаторных задач. Они могут быть решены на ЭВМ, но требуют перебора огромного количества вариантов, в результате чего чрезмерно увеличивается требующийся объем памяти ЭВМ и затраты машинного времени. При известных зависимостях $P_{отк}(N_{дв})$ более простым является графический метод их решения, поясняемый рис. 18.5.

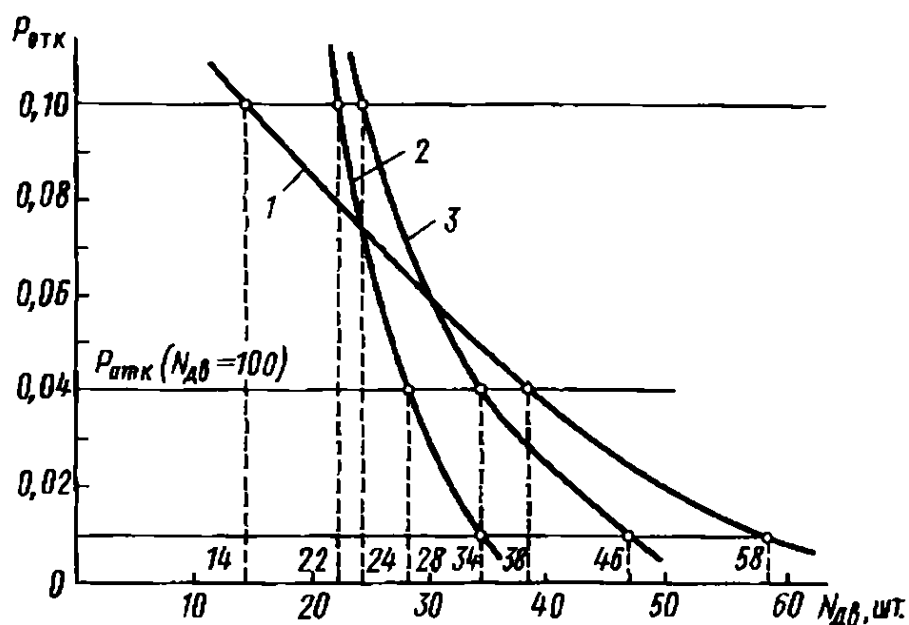


Рис. 18.5

Вероятность отказа пассажирам в посадке на остановочных пунктах в функции количества подвижного состава на маршрутах, характеризующихся разными условиями движения

Требуемое количество подвижного состава на маршрутах, соответствующее принятой вероятности отказа пассажирам в посадке, определяется в виде абсцисс точек пересечения горизонтали, отвечающей принятой вероятности отказа $P_{отк}$, например $P_{отк} = 0,01$ с кривыми $P_{отк}(N_{дв})$ рассматриваемых маршрутов. При $P_{отк} = 0,01$ получаем $N_{дв} = 34 + 46 + 58 = 138$, при $P_{отк} = 0,1$ — соответственно $N_{дв} = 14 + 22 + 24 = 60$ и т. д.

Решение задачи распределения заданного количества подвижного состава по маршрутам сводится к определению такого уровня вероятности отказа пассажирам в посадке, т. е. такой горизонтали на рис. 18.5, которой соответствует суммарное количество подвижного состава маршрутов, равное заданному. Если, например, $N_{дв} = 100$, то уровень $P_{отк} = 0,01$ дает завышенное количество подвижного состава (138), а уровень $P_{отк} = 0,1$ — заниженное (60). Методом направленного перебора в этой области находим уровень вероятности отказа, соответствующий $N_{дв} = 100$, и требуемое распределение подвижного состава по маршрутам: на маршрут 1 — 38 единиц, на маршрут 2 — 28 и на маршрут 3 — 34 ($38 + 28 + 34 = 100$).

Однако описанная методика расчета потребности транспортных предприятий в подвижном составе и распределения его по маршрутам не оптимальна, так как не гарантирует однозначного выбора наилучшего варианта. Если исходить только из интересов качества транспортного обслуживания пассажиров и соответственно задаться низким уровнем вероятности отказа пассажирам в посадке, то для обслуживания заданных пассажироперевозок потребуется большое количество подвижного состава, который будет работать на линии с небольшим наполнением. Если же при определении количества подвижного состава исходить лишь из интересов транспортных предприятий, то окажутся возможными решения, допускающие низкий уровень качества обслуживания пассажиров, так как на ГПТМ в большинстве случаев решения, принятые по критерию максимума качества пассажироперевозок, не соответствуют максимуму их экономических показателей.

Качественные и экономические критерии оценки работы ГМПТ могут быть учтены при выборе количества требуемого подвижного состава по экономическому критерию минимума приведенных затрат $C_{пр}$ на организацию и эксплуатацию транспортного хозяйства, включая затраты, связанные с потерями транспортного времени населения [7]:

$$C_{пр} = [(\mathcal{E}_п + \epsilon_n K_n) N_{дв} + C_{вч} T_{ож}] / A = \text{Мин}, \quad (18.31)$$

где $\mathcal{E}_п$ — годовые эксплуатационные расходы транспортного предприятия, отнесенные к единице подвижного состава; $\epsilon_n = 0,12$ — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; K_n — суммарные капиталовложения на организацию транспортного хозяйства, отнесенные к единице подвижного состава; $T_{ож}$ — суммарные годовые затраты времени городского населения на ожидание транспорта в пассажиропоездах (с учетом нерегулярности движения); A — годовой объем пассажироперевозок; $C_{вч}$ — стоимостная оценка одного пассажиро-часа (ориентировочно 0,15 руб/ч).

Функцию $C_{пр}(N_{дв})$ определяет характер зависимостей от количества подвижного состава приведенных годовых эксплуатационных расходов и капитальных затрат $(\mathcal{E}_n + \varepsilon_n K_n)$, объема пассажироперевозок A и затрат времени на ожидание транспорта $T_{ож}$, которые с учетом нерегулярности движения подвижного состава и подхода пассажиров к остановкам ГМПТ могут быть исследованы методом моделирования. Их примерный вид показан на рис. 18.6.

Зависимости $T_{ож}(N_{дв})$ и $A(N_{дв})$ в первом приближении выражают уравнениями

$$T_{ож} = a/N_{дв}; \quad A = b - d/N_{дв}, \quad (18.32)$$

где a , b и d — некоторые постоянные.

Функция суммарных приведенных затрат $C_{пр}(N_{дв})$ имеет U-образный вид и, следовательно, точку минимума, соответствующую оптимальному количеству подвижного состава в хозяйстве.

§ 18.5. Режимы работы поездных бригад и подвижного состава на линии по сменности

Организацию работы подвижного состава на линии определяют:

1) колебания пассажиропотоков, из-за которых непрерывно меняется количество подвижного состава, требующееся для освоения пассажироперевозок;

2) принятая система обслуживания поездов поездными бригадами, определяющая свободу маневрирования резервом поездов и бригад;

3) установленная законодательством о труде (КЗоТ) продолжительность рабочей смены поездных бригад, определяющая режим сменности поездов на линии.

Из-за колебаний пассажиропотоков во времени удовлетворительное использование подвижного состава по наполнению можно получить

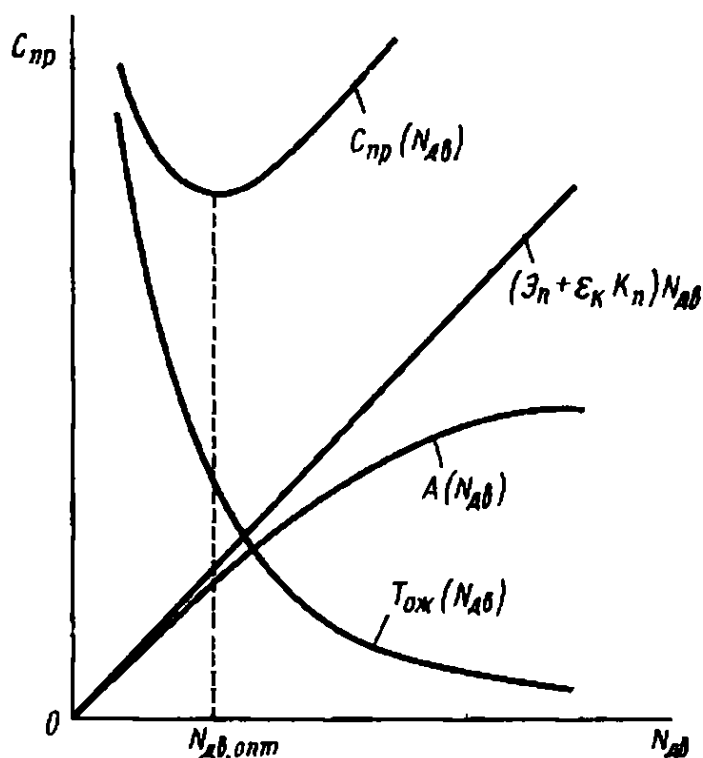


Рис. 18.6

Составляющие приведенных затрат по транспортному хозяйству в функции количества его подвижного состава

только при регулировании его выпуска на линию в соответствии с колебаниями пассажиропотока. Такое регулирование выпуска, как уже отмечалось, в системах ОД современного ГМПТ организуют по системе опережающего планирования для часовых промежутков времени.

Различают две системы обслуживания поездов поездными бригадами: 1) систему обслуживания поездов сменными бригадами; 2) систему обслуживания поездов прикрепленными бригадами.

При обслуживании поездов сменными бригадами выпуск комплектуют так, чтобы поездными бригадами были обеспечены все поезда, выпускаемые на линию, и осталось также определенное количество резервных бригад на случай замен, необходимость в которых может появиться по разным причинам. Поездные бригады назначают в этом случае на любые поезда, в результате чего в каждой смене они могут обслуживать разные поезда. Достоинства системы обслуживания выпуска сменными бригадами — в широкой возможности маневрирования ими (назначения на любые поезда), простоте комплектования выпуска и возможности повышения коэффициента линейной работы подвижного состава; недостатки — в том, что поездные бригады не знают заранее поездов, на которых им нужно будет работать в предстоящую смену, нуждаются в определенном времени адаптации, привыкания к поезду, которое характеризуется замедленной реакцией на выполнение управляющих воздействий и соответственно более низким уровнем безопасности движения.

При обслуживании поездов прикрепленными бригадами последние закрепляют за определенными поездами так, что каждая бригада работает постоянно только на закрепленном за ней поезде. Эта система осложняет комплектование выпуска поездными бригадами, связана в целом с более низким использованием поездов для линейной работы, но зато обеспечивает возможность изучения прикрепленными бригадами всех особенностей подвижного состава, что способствует снижению аварийности и повышению безопасности работы поездов на линии.

Несмотря на достоинства системы прикрепленных бригад, более прогрессивной, как показал опыт организации локомотивной работы на железных дорогах, является система сменных бригад, преимущества которой возрастают вместе с ростом рабочей сознательности и коммунистического отношения к труду.

Благодаря особенностям линейной работы продолжительность рабочей смены поездных бригад не может быть установлена постоянной. Если, например, продолжительность рейса составляет 2 ч, то продолжительность смены поездной бригады кратна двум и может составлять 4, 6 или 8 ч. Соответственно трудовым законодательством продолжительность смены поездных бригад установлена равной 7 ч, но допускает отклонения от 3,5 до 8,5 ч, а в исключительных случаях и до 9,5 ч. Обеденный перерыв поездных бригад должен назначаться примерно в середине смены и находиться в пределах от 0,5 до 2 ч, причем допускается уменьшение обеденного перерыва до 10 мин. Обеденные перерывы продолжительностью более 10 мин не засчитываются в рабочее время, а продолжительностью до 10 мин засчитываются в рабочее время поездной бригады.

Рабочее время поездной бригады складывается из линейной работы (кроме обеденных перерывов) и работы в депо по приемке-сдаче подвижного состава и участию в его техническом обслуживании. В разные смены продолжительность работы поездных бригад может быть разной, но в среднем за месяц должна быть равна месячной норме. Для этого смены с удлинненным рабочим днем должны уравниваться сменами с укороченным рабочим днем.

Суточный период работы ГМПТ от начала и до конца движения составляет около 20 ч — примерно с 5 ч утра до 1 ч ночи. В этот период в соответствии с задачами регулирования выпуска по часам суток на линию выпускают следующие поезда (см. рис. 18.7):

1) трехсменные, работающие на линии от начала и до конца движения без заходов в депо (рис. 18.7, а). Поездная бригада первой смены принимает такой поезд в депо, а поездные бригады второй и третьей смен — на линии в местах, предусмотренных расписанием (преимущественно на конечных станциях маршрутов). В депо D после окончания движения поезд приводит поездная бригада третьей смены. Трехсменные поезда характеризуются максимальным использованием для линейной работы и минимальным суммарным нулевым пробегом, который составляет $\frac{2}{3}l_0$ в расчете на смену (l_0 — пробег от депо до конечной станции маршрута, на которой поезд принимается в движение или снимается для отправки в депо);

2) двухсменные утреннего выпуска (рис. 18.7, б) и двухсменные вечернего выпуска (рис. 18.7, в), работающие на линии без захода в депо две смены. Поездная бригада первой смены принимает такой поезд в депо, а поездная бригада второй смены — на линии. Она же приводит поезд в депо после окончания работы. Эти поезда характеризуются меньшим использованием на линейной работе по сравнению с трехсменными и большим удельным весом нулевых пробегов. Коэффициент линейной работы трехсменных поездов, определяемый отношением времени работы на линии к продолжительности периода движения, близок к единице, а двухсменных — к $\frac{2}{3}$. Суммарный нулевой пробег двухсменных поездов, как и трехсменных, равен $2l_0$, но удельный в расчете на смену составляет l_0 вместо $\frac{2}{3}l_0$ для трехсменных;

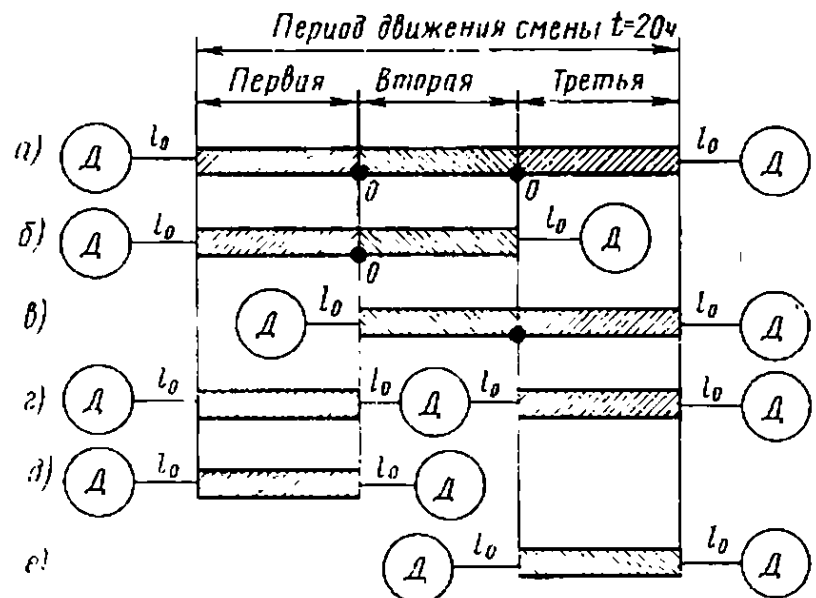


Рис. 18.7

Классификация поездов по сменности:

D — депо, O — переселка на линии;
 l_0 — нулевой пробег

3) двухсменные с выемкой (рис. 18.7, з), работающие на линии в утренние и вечерние часы, включая часы утреннего и вечернего пиков пассажироперевозок. В часы дневного спада пассажироперевозок их возвращают в депо для отстоя и технического обслуживания или оставляют на отстойных площадках конечных станций маршрутов. По использованию на линейной работе эти поезда аналогичны двухсменным без выемки, но имеют более высокий удельный вес нулевых пробегов, которые в расчете на смену составляют $2l_0$;

4) односменные утреннего выпуска (рис. 18.7, д) и односменные вечернего выпуска (рис. 18.7, е), работающие на линии только одну смену в утренние или вечерние часы движения. Отличаются минимальным использованием для линейной работы: их коэффициент линейной работы не превышает $1/3$. Удельный нулевой пробег односменных поездов в расчете на смену равен $2l_0$, т. е. имеет ту же величину, что и для двухсменных с выемкой.

Максимальное использование ресурса подвижного состава и, следовательно, фондоотдачу транспортных хозяйств обеспечивают трехсменные поезда, но особенности часовых графиков пассажироперевозок определяют необходимость иметь также двухсменные и односменные поезда.

Чтобы выдержать заданную месячную норму рабочего времени поездных бригад, на большинстве транспортных предприятий применяют скользящий график сменности поездов, по которому поезда с прикрепленными бригадами назначают в течение месяца на разные по сменности выходы с различной продолжительностью работы. Есть, однако, и такие предприятия, где поезда и прикрепленные к ним бригады закрепляются за определенными выходами.

Расчет распределения подвижного состава маршрутов по сменности. Расчет выполняют так, чтобы обеспечить минимальные отклонения от результатов расчета количества подвижного состава маршрутов по пассажиропотокам, учесть ограничения выпуска по максимальному допустимому интервалу между поездами в часы дежурного движения и допускаемые КЗоТ колебания продолжительности рабочей смены поездных бригад.

При этом применяют аналитические и графо-аналитические методы расчета, причем предпочтительнее последние, которые более наглядны и позволяют наиболее полно увязать распределение подвижного состава по маршрутам с их пассажиропотоками и организацией труда поездных бригад.

Результаты расчета распределения подвижного состава маршрутов по часам периода движения изображают графически диаграммой, аналогичной диаграмме распределения пассажироперевозок (см. рис. 18.2). Они были бы абсолютно подобны, если бы планируемое использование вместимости подвижного состава во все периоды движения было одинаковым. Фактически использование вместимости максимально в часы пик и снижается в часы спада пассажироперевозок, благодаря чему колебания требуемого количества подвижного состава по часам суток получаются менее резкими, чем колебания пассажиропотоков.

Результаты расчета потребности в подвижном составе по пассажиропотоку, показанные на рис. 18.2 пунктирной линией, воспроизведе-

дены на рис. 18.8, а. Площадь этой диаграммы изображает транспортную работу в поездо-часах работы подвижного состава на линии (ПЧ_{пл}), требующихся для освоения заданных пассажироперевозок. В данном примере они равны 260. При равномерном распределении суточных пассажиропотоков по часам периода движения $T_{нд} = 20$ ч и непрерывной работе поездов в продолжении всего периода движения для освоения заданных пассажироперевозок было бы достаточно иметь на линии $N_{тв} = ПЧ_{пл} / T_{нд} = 260 / 20 = 13$ поездов.

Фактическая максимальная потребность в поездах по пассажиропотоку в утренний час пик составляет 20 поездов, а транспортное хозяйство выделяет на маршрут 18 поездов. В соответствии с этим проведем (рис. 18.8, б) линию Макс. Зачерченные поездо-часы, лежащие выше этой линии, характеризуют дефицит требующегося подвижного состава. В часы дежурного движения потребность в подвижном составе на линии определяется обычно не пассажиропотоком, а максимальным допустимым интервалом между поездами. Количество поездов, которое нужно держать на маршруте, чтобы обеспечить заданные максимальные ин-

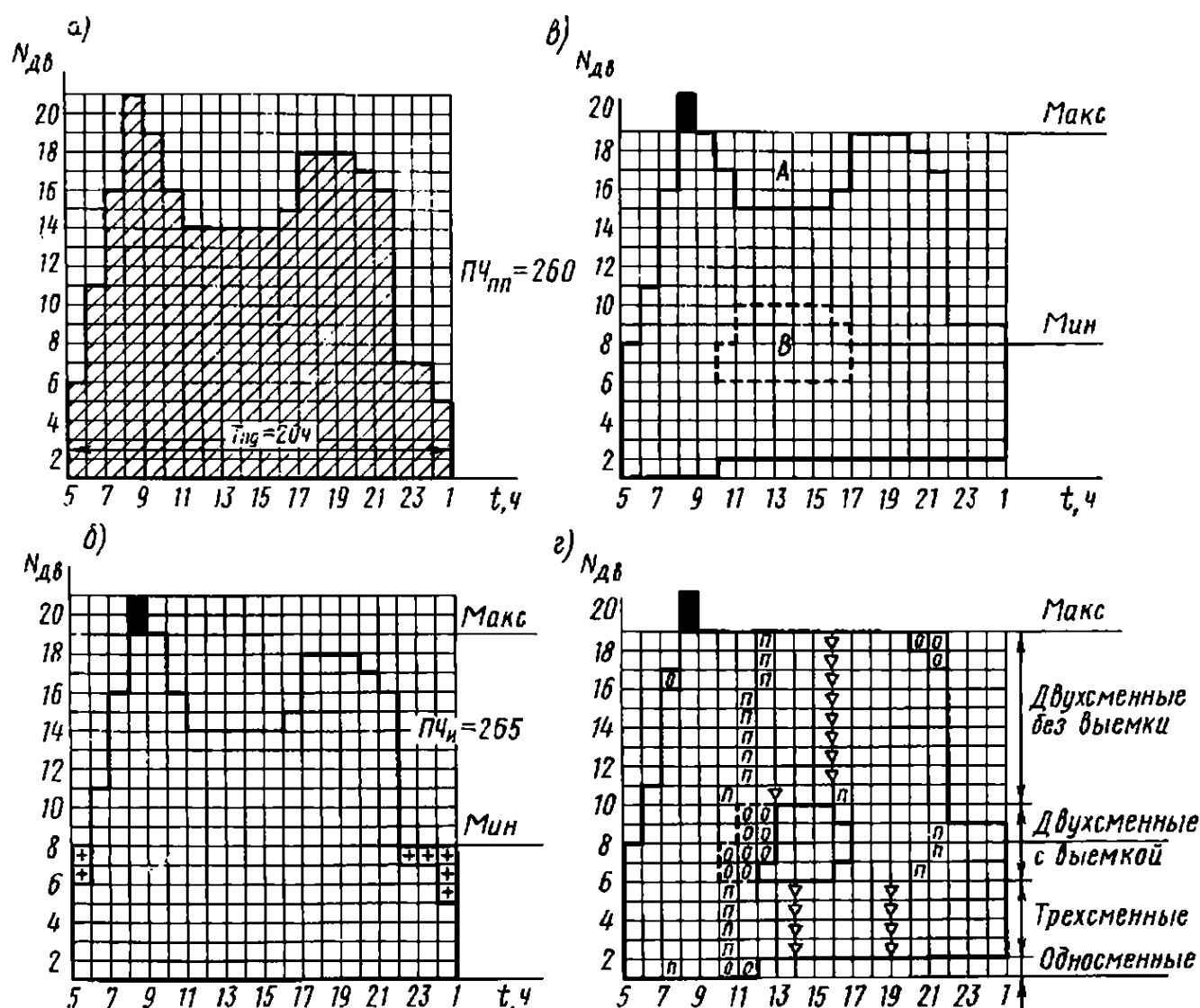


Рис. 18.8

тервалы, зафиксируем линией Мин. Чтобы обеспечить заданные максимальные маршрутные интервалы, к $ПЧ_{\text{нп}}$ в данном случае придется добавить семь поездо-часов, обозначенных на диаграмме рис. 18.8, б знаком «+». За вычетом двух поездо-часов, не обеспеченных подвижным составом в связи с его дефицитом, суммарное количество поездо-часов в результате этих операций получаем равным $ПЧ_{\text{н}} = 265$.

Режим работы поездов, соответствующий рис. 18.8, б, осуществить нельзя, так как поезд 18 должен работать на линии только 2 ч — меньше допускаемой КЗоТ минимальной продолжительности смены поездной бригады, а поезда 16 и 17 работают на линии 5—6 ч, т. е. допускаемое КЗоТ время, но с недопустимо большим перерывом в 7 ч.

Задача, следовательно, состоит в том, чтобы изменить продолжительность работы поездов на линии так, чтобы она не противоречила КЗоТ. Графический метод ее решения базируется на том, что пустые и занятые клетки (поездо-часы) можно как угодно перемещать по вертикали, не изменяя временного интервала Δt , в котором они находятся (не перемещая по горизонтали). Нужно подобрать такое их расположение по вертикали (не добавляя лишних поездо-часов), при котором количество занятых клеток в каждой из строк соответствовало бы желаемой продолжительности рабочих смен поездных бригад. Одновременно выбирают для них обеденные перерывы с соответствующей заменой поездов на линии и решают вопрос о достаточности съема поездов в часы спада пассажироперевозок для обеспечения технического обслуживания подвижного состава в депо. Расчет ведут в такой последовательности:

1) выравнивают диаграмму по верхнему максимальному пределу, в рассматриваемом случае вечерний пик по утреннему, приподнимая часть диаграммы, лежащую за вертикалью, соответствующей 10 ч, на одну клетку (рис. 18.8, в);

2) свободные клетки *A* перемещают по вертикали вниз и размещают в положении *B* так, чтобы получить желаемую продолжительность рабочих смен поездных бригад. В результате получают разделение поездов на односменные, двухсменные без выемки, двухсменные с выемкой и трехсменные (рис. 18.8, г);

3) решают вопрос о предоставлении поездным бригадам обеденных перерывов так, чтобы в часы обеденных перерывов их поезда подменялись на линии другими из расчета один поезд на два, стоящих на обеденном перерыве по 0,5 ч, один поезд на один поезд, стоящий на перерыве 1 ч, и т. д. Поездо-часы работы поездов, подменяющих находящиеся на обеденном перерыве, отмечены кружочками, находящиеся на обеденном перерыве — буквой «п», пересменки поездных бригад — знаком « ∇ ».

§ 18.6. Нулевые пробеги и распределение маршрутов между депо по критерию минимума нулевых пробегов

Маршруты транспортной сети ГМПТ прикрепляют к эксплуатационным депо, которые обслуживают их своим подвижным составом. Как правило, маршрут стремятся прикрепить к одному депо, что более

удобно по организационным соображениям; так как при прикреплении к двум депо приходится взаимно координировать их выпуски, что осложняет выпуск подвижного состава на линию.

Депо D посылает поезда на прикрепленный маршрут через одну из конечных станций $КС$ (рис. 18.9, а) или через промежуточную точку маршрута (рис. 18.9, б). Длинные маршруты для уменьшения бесполезных нулевых пробегов прикрепляют к двум депо. И в этом случае поезда могут входить на маршрут или через конечные станции $КС$ (рис. 18.9, в), или через промежуточные точки маршрута (рис. 18.9, г).

Нулевым пробегом транспортные предприятия называют пробег подвижного состава от депо до конечной станции маршрута, где он оформляется дежурным диспетчером как поступивший в движение или выбывший из движения. Нулевой пробег не включают в полезную работу подвижного состава на маршруте. Как и полезную линейную работу подвижного состава, его учитывают в вагоно(машино)-километрах и вагоно(машино)-часах, причем отношение полезной линейной работы на маршруте в вагоно(машино)-километрах или вагоно(машино)-часах к полной линейной работе с учетом нулевых пробегов определяет коэффициент использования подвижного состава и линейного времени поездных бригад по линейной работе:

$$k_{вкм} = (ВКМ - ВКМ_0) / ВКМ, \quad k_{вч} = (ВЧ - ВЧ_0) / ВЧ, \quad (18.33)$$

где $k_{вкм}$ и $k_{вч}$ — коэффициенты использования подвижного состава и линейного времени работы поездных бригад по вагоно(машино)-километрам и вагоно(машино)-часам линейной работы; $ВКМ$ и $ВЧ$ — полные вагоно(машино)-километры и вагоно(машино)-часы линейной работы от момента выхода вагонов или машин из депо до момента захода в депо ($ВЧ$ — за вычетом предусмотренных расписанием движения перерывов на обед и отстоя подвижного состава на конечных станциях маршрутов); $ВКМ_0$ и $ВЧ_0$ — вагоно(машино)-километры и вагоно(машино)-часы нулевых пробегов подвижного состава.

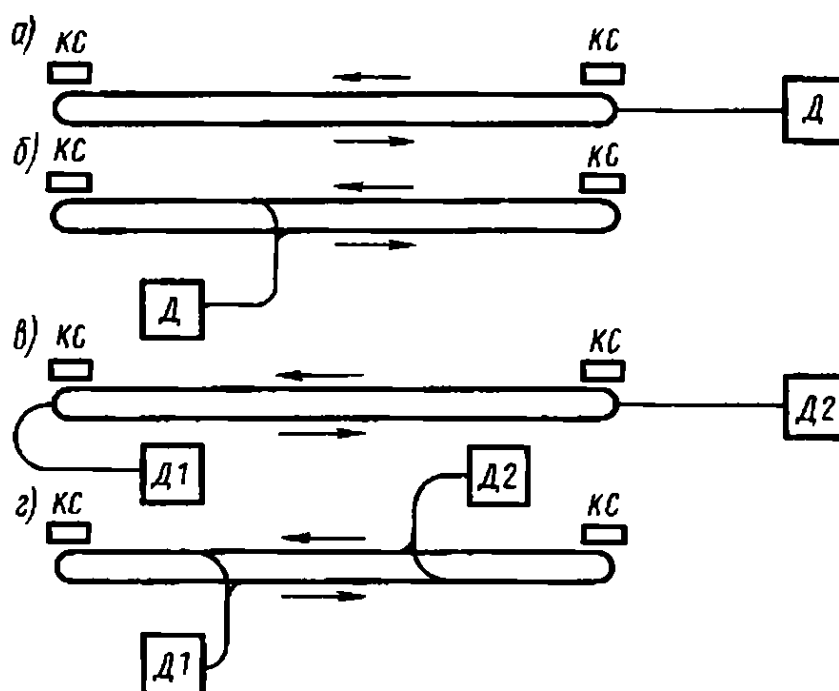


Рис. 18.9

Варианты ввода поездов на маршруты из депо D

В целях максимального повышения коэффициентов использования подвижного состава и линейного времени поездных бригад распределение маршрутов между депо производят по критерию минимума нулевых пробегов. Для этого перебирают возможные варианты распределения и выбирают из них тот, который обеспечивает минимум нулевых пробегов.

В общем виде задача ставится так. Задано:

- 1) расположение депо для хранения и технического обслуживания подвижного состава в плане города $D_1, D_2, \dots, D_m$ (всего m депо);
- 2) плановый выпуск подвижного состава из соответствующих депо на линию (в вагонах или поездах с учетом их сменности) $B_1, B_2, \dots, B_m$ (m выпусков по количеству депо);
- 3) маршруты, соответствующие принятой маршрутной системе $M_1, M_2, \dots, M_n$ (всего n маршрутов);
- 4) количество подвижного состава, требующегося для освоения пассажиропотока маршрутов (выпуски на маршруты) в вагонах или поездах $N_1, N_2, \dots, N_n$ (n выпусков по количеству маршрутов);
- 5) величина нулевого пробега на один поезд, взятый из депо D_i на маршрут M_j с учетом дневных съемов поездов с маршрута в депо l_{0ij} . Величину l_{0ij} подсчитывают, принимая во внимание, что на каждый односменный поезд, двухсменный без выемки и трехсменный приходится по два нулевых пробега на поезд, а для двухсменных поездов с выемкой — четыре нулевых пробега на поезд.

Требуется определить выпуски X_{ij} из депо D_i на маршрут M_j , удовлетворяющие условию минимума суммарного нулевого пробега:

$$l_{0\sum} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n l_{0ij} X_{ij} = \text{Мин}, \quad (18.34)$$

при следующих ограничениях:

- 1) сумма выпуска на все маршруты поездов i -го депо должна быть равна его плановому выпуску B_i :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = B_i \quad (i = 1, 2, \dots, m); \quad (18.35)$$

- 2) сумма выпусков на j -й маршрут поездов из всех депо должна быть равна расчетному количеству подвижного состава, требующегося для освоения пассажиропотоков маршрута:

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = N_j \quad (j = 1, 2, \dots, n); \quad (18.36)$$

Поставленная задача представляет собой транспортную задачу линейного программирования, которая легко решается на ЭВМ. Использование быстродействующих ЭВМ позволяет решать задачи распределения подвижного состава депо по маршрутам для всех часов и периодов движения и оптимизировать распределение маршрутов между депо по условию минимума нулевых пробегов с различными дополнительными ограничениями.

В рассмотренной постановке задача распределения маршрутов между депо по условию минимума нулевых пробегов решается приближенно, так как не учитывает изменений потребности маршрутов в подвижном составе в соответствии с изменениями пассажиропотоков во времени. Правильнее поэтому распределять маршруты между депо не по критерию минимума нулевых пробегов, а по критерию минимума бесполезных нулевых пробегов [28].

Бесполезным нулевым пробегом называют пробег поездов на линии вне своего расчетного периода движения независимо от того, где он совершается — на подъездных или основных путях маршрута. Пробег поездов по маршруту вне своего расчетного периода бесполезен для транспортного предприятия, так как он не приносит дополнительной выручки по той причине, что пассажирская нагрузка поездов, работающих вне своего расчетного периода движения, обеспечивается лишь за счет отвлечения ее от поездов, работающих в своем расчетном периоде. Но работа поездов даже на подъездных путях в расчетный период движения, не обеспеченный другими поездами, и на своем маршруте в свой расчетный период движения не является бесполезной. Таким образом, понятия нулевого пробега и бесполезного нулевого пробега различны. При заданном расстоянии l_d от депо до конечной станции маршрута нулевой пробег равен l_d независимо от длины маршрута, а бесполезный нулевой пробег может быть различным, в том числе может намного превышать l_d и может быть равным нулю.

Определение бесполезных нулевых пробегов требует анализа работы поездов на линии во времени. Один и тот же пробег поездов по маршруту может быть и полезным, если он совершается в своем расчетном периоде, и бесполезным, если он совершается вне его. Если поезд входит на маршрут из депо в свой расчетный период, то пробег его к конечной станции будет полезным еще до того, как будет зарегистрировано прибытие поезда на маршрут. Однако пробег его по маршруту вне своего расчетного периода движения будет бесполезным даже на нормальных рейсах.

Отвлекаясь от разнообразия возможных ситуаций ОД поездов на маршрутах, при расчетах бесполезных нулевых пробегов будем исходить из следующего:

1) к началу каждого расчетного периода все обслуживающие его поезда должны быть рассредоточены на маршруте с равными интервалами. На самом деле могут быть и другие варианты, например может потребоваться сосредоточение части поездов в отдельных точках или на одном из направлений маршрута;

2) выпуск поездов из депо организован с равными интервалами, причем так, что в момент начала каждого нового расчетного периода на маршрут входит последний поезд этого расчетного периода. На самом деле выпуск поездов к заданному расчетному периоду может происходить и с опережением, и с запаздыванием, хотя нежелательно ни то, ни другое.

Рассмотрим при этих допущениях работу поездов маршрута, обслуживаемого подвижным составом из одного депо (рис. 18.10, а). Пусть на маршруте длиной l_m в расчетный период Δt_1 работает N_1 поездов.

Распределение их по маршруту изобразим кружочками. В расчетный период Δt_2 на линии должны работать N_2 поездов, причем $N_2 > N_1$. Добавочные поезда $n = N_2 - N_1$ изобразим на схеме крестиками.

Для освоения пассажироперевозок в расчетный период Δt_2 к началу его на маршруте должны находиться рассредоточенными все добавочные поезда n . Пробег этих поездов от момента выхода из депо до момента наступления расчетного периода Δt_2 бесполезен даже в случае, если поезда перевозят пассажиров (пассажироперевозки будут выполнены за счет ослабления нагрузки на поезда, обслуживающие расчетный период Δt_1).

В соответствии с принятой гипотезой добавочные поезда n распределяются пропорционально между участками l_1 и l_2 маршрута:

$$n_1/l_1 = n_2/l_2 = n/l_M,$$

откуда

$$n_1 = n l_1 / l_M \text{ и } n_2 = n l_2 / l_M, \quad (18.37)$$

где n_1 и n_2 — соответственно количество добавочных поездов на участках l_1 и l_2 маршрута.

К моменту начала расчетного периода Δt_2 по принятой гипотезе первый поезд из группы поездов n_1 будет иметь пробег $2l_1 + l_d$, а последний — пробег l_d . Средний бесполезный нулевой пробег поездов этой группы

$$l_{01} = 0,5 n_1 [(2l_1 + l_d) + l_d] = n (l_1/l_M)(l_1 + l_d).$$

Аналогично найдем, что средний бесполезный нулевой пробег поездов второй группы

$$l_{02} = 0,5 n_2 [(2l_2 + l_d) + l_d] = n (l_2/l_M)(l_2 + l_d).$$

Общий бесполезный нулевой пробег добавочных поездов

$$l_{0\Sigma} = l_{01} + l_{02} = n [l_d + (l_1^2 + l_2^2)/l_M]. \quad (18.38)$$

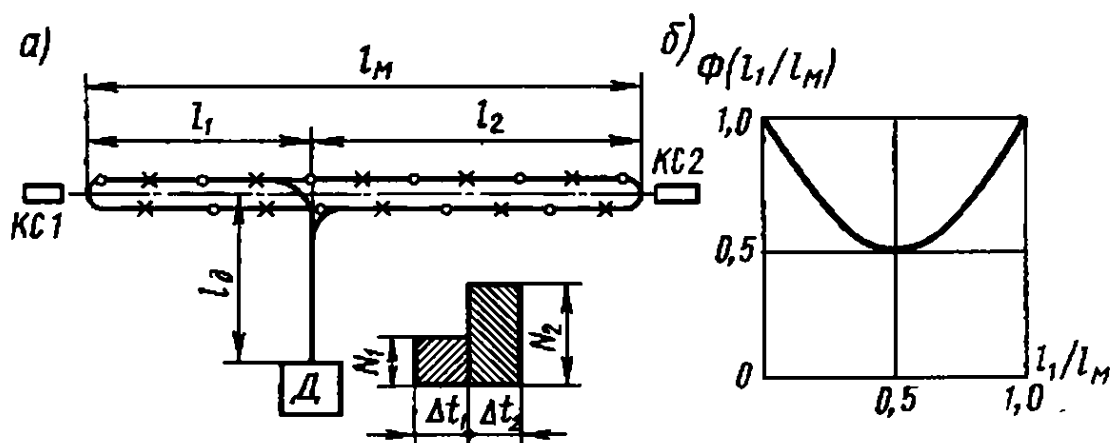


Рис. 18.10

Так как $l_2 = l_m - l_1$,

$$l_{0\Sigma} = n \{ l_d + l_m [2(l_1/l)^2 + 2l_1/l + 1] \} = n (l_d + l_{0m}), \quad (18.39)$$

где l_d — бесполезный нулевой пробег поезда на участке от депо до точки входа на маршрут; l_{0m} — бесполезный нулевой пробег поезда по маршруту, пропорциональный длине маршрута l_m и коэффициенту $\Phi(l_1/l_m)$, определяющему положение на маршруте точки ввода поездов:

$$l_{0m} = l_m \Phi(l_1/l_m), \quad (18.40)$$

где

$$\Phi(l_1/l_m) = 2(l_1/l_m)^2 - 2(l_1/l_m) + 1. \quad (18.41)$$

Зависимость $\Phi(l_1/l_m)$ имеет вид параболы (рис. 18.10, б). Минимум ее соответствует точке $l_1/l_m = 0,5$, т. е. случаю, когда поезда входят на маршрут в точке, делящей его пополам.

Приведенный расчет показывает, что для уменьшения бесполезных нулевых пробегов $l_{0\Sigma}$ нужно уменьшать l_d , l_m и располагать точку, в которой поезда входят на маршрут, ближе к середине маршрута. Если поезда поступают на маршрут через конечную станцию КС1 или КС2, то соответственно $l_1 = 0$ или $l_1 = l_m$. В обоих случаях $\Phi(l_1/l_m) = 1$ и бесполезный нулевой пробег l_{0m} будет максимальным.

Аналогично можно рассчитать и проанализировать бесполезные нулевые пробеги поездов, поступающих на маршрут из двух депо, а также для случаев выпуска поездов с разворотом и без разворота по направлениям в точках выхода на маршрут. Эти расчеты показывают, что величина бесполезного нулевого пробега по маршруту (не считая пробега от депо до маршрута) при принятой гипотезе рассредоточения и поступления поездов на маршрут составляет (на один поезд):

а) при выпуске поездов на маршрут с одного конца маршрута — половину длины полного рейса;

б) при выпуске через середину маршрута — $1/4$ длины полного рейса;

в) при выпуске из двух депо с разных концов маршрута — $1/4$ длины полного рейса;

г) при выпуске из двух депо через точки, делящие маршрут на три равные части, — $1/6$ длины полного рейса.

Для обеспечения минимальных сетевых бесполезных нулевых пробегов маршруты между депо нужно распределять с учетом: расстояний l_d от депо до точек ввода поездов на маршрут, расположения точек ввода поездов на маршруты, определяемых функцией $\Phi(l_1/l_m)$, и длины маршрутов l_m . Оптимальный вариант прикрепления маршрутов к депо может быть решен как комбинаторная задача линейного программирования сравнительными расчетами на ЭВМ по условию

$$\sum_{m=1}^m \sum_{n=1}^n \sum_{\Delta l} l_{0\Sigma} = \text{Мин}, \quad (18.42)$$

где m — общее количество депо; n — общее количество маршрутов транспортной сети.

Суммирование должно вестись по всем расчетным интервалам движения Δt и должно быть оптимизировано по критерию минимума бесполезных нулевых пробегов при принятых дополнительных критериях ограничения. Последними могут быть, например, условие распределения выручки между депо (неодинаковой на разных маршрутах) пропорционально выполненным вагоно-километрам.

Условие (18.42) может быть использовано также для сравнительных расчетов оптимального размещения депо в городе при новом проектировании транспортных сетей и для определения оптимального распределения подвижного состава между имеющимися депо.

§ 18.7. Наряд на выпуск и расписание движения поездов

Результаты расчетов планирования движения документируются нарядом на выпуск и расписаниями движения поездов.

Нарядом на выпуск подвижного состава (нарядом работы подвижного состава, нарядом поездов) называют документ, в котором оформляются результаты расчета распределения подвижного состава по сменности, маршрутам в депо. В нем перечисляют все маршруты транспортной сети и для каждого из них указывают: количество обслуживающих маршрут поездов по типам, составу (количеству вагонов или машин) и сменности; прикрепление поездов к депо; начало и окончание движения на линии; продолжительность оборотного рейса по периодам суток; продолжительность нулевого пробега; маршрутный интервал в часы пик; вагоно-часы работы на линии по дням недели (в будние, субботные и воскресные дни) и суммарные за месяц.

Наряд поездов является руководством для депо, определяющим объем его линейной работы по обеспечению пассажироперевозок подвижным составом, и одним из основных документов для составления маршрутного расписания движения. При составлении расписаний движения исходят из заданного нарядом распределения подвижного состава по сменности, маршрутам и депо. Расписание движения используют также для уточнения наряда в части моментов выхода и захода поездов в депо, продолжительности работы на линии и т. д.

При составлении нарядов ставят задачей получения максимальных эксплуатационных показателей работы подвижного состава на линии, максимального использования рабочего времени водителей для полезной линейной работы и обеспечение заданного графика осмотров и ремонтов подвижного состава.

Основными формами нарядов являются наряд работы вагонов или машин депо и сводный наряд работы вагонов или машин всего транспортного хозяйства. Ввиду особой важности наряда как документа, обобщающего расчеты планирования движения, он утверждается Управлением транспортного хозяйства и обычно ежемесячно корректируется с учетом изменений условий пассажироперевозок.

Расписанием движения называют документ, нормирующий движение поездов на линии во времени. Расписание движения является итоговым документом всего комплекса работ планирования движения. Оно направляет и организует работу всех служб транспортного предприятия,

связанных с движением поездов. Выполнение расписания движения — закон для всех служб и работников движения, начиная с водителей поездов и кончая начальником службы движения. Правильно составленное расписание движения обеспечивает: высокие качественные показатели перевозки пассажиров и выполнение установленных плановых заданий по пассажироперевозкам, регулярности и выручке; рентабельность маршрутов; безопасность движения; эффективное использование подвижного состава; согласованность работы маршрутов с другими видами ГМПТ; требующийся съём поездов с линии в периоды спада Пассажироперевозок для обеспечения заданного графика технического обслуживания подвижного состава; соблюдение установленной КЗоТ продолжительности работы поездных бригад; максимальное использование разрешенных скоростей движения поездов на маршрутах.

Основной вид расписаний движения на ГМПТ — *маршрутное расписание*, устанавливающее режим работы по времени поездов каждого действующего маршрута. На основании маршрутных расписаний составляют поездные расписания на каждый поезд (ими руководствуются водители поездов), для дежурных конечных станций маршрутов (по ним контролируют движение поездов через конечные станции маршрутов), для дежурных промежуточных станций (по ним контролируют движение поездов через контрольные точки сети), для диспетчеров депо (по ним осуществляют выпуск поездов на линию и прием их с линии), маршрутные для пассажиров (вывешиваемые на остановочных пунктах маршрутов с большими интервалами).

В связи с колебаниями условий движения на маршрутах (прогнозируемыми изменениями транспортной ситуации) маршрутные расписания составляют отдельно на весенне-летний и осенне-зимний периоды для будних, субботних, воскресных и праздничных дней. Таким образом, в течение года на каждом маршруте сменяют друг друга восемь типов расписаний. Кроме того, составляют и другие, так называемые целевые расписания движения для работы в трудных погодных условиях (туман, низкая освещенность, гололед, снегопад), в летнее время на маршруты к местам массового отдыха трудящихся и т. д.

Основное содержание маршрутного расписания — нормирование времени: выхода каждого поезда из депо и прибытия на маршрут с указанием направления следования; проследования контрольных пунктов, прибытия на конечные станции маршрута и отправления с них; начала и окончания линейного отстоя во время обеденных перерывов, расцепки и др.; времени и места смены бригад; дневного снятия в депо с указанием направления следования; командирования с маршрута на маршрут для организации взаимопомощи маршрутов по пассажироперевозкам при несовпадении часов пик; вечернего снятия в депо после окончания движения с указанием направления следования; согласования с другими маршрутными расписаниями (на участках совпадения маршрутов). Кроме того, в маршрутных расписаниях приводят сводные эксплуатационные показатели работы отдельных поездов и маршрута в целом: вагоно-часы и вагоно-километры работы подвижного состава на нулевых рейсах и на линии, рейсовое время и количество выполненных рейсов, эксплуатационную скорость по периодам движения и др.

По форме различают расписания: 1) табличное или матричное; 2) графики движения. В поле *А* табличного маршрутного расписания (рис. 18.11) указывают: номер маршрута; его конечные пункты и длину; дату ввода и категорию расписания (на рабочие дни, выходные дни, резервное и др.). В поле *Б* приводят общие данные и сводные эксплуатационные показатели движения на маршруте: наименования характерных участков маршрута; рейсовое время по периодам суток с отличающимися характеристиками движения; номера прикрепленных депо и их выпуски с делением поездов по составу (одновагонные, двухвагонные, моторные, прицепные) и сменности (односменные, двухсменные, двухсменные с выемкой, трехсменные); сводные данные о нулевых рейсах (вагоно-километры и вагоно-часы нулевых рейсов); среднюю эксплуатационную скорость на маршруте; вагоно-километры и вагоно-часы линейной работы подвижного состава; количество плановых рейсов и их деление (нормальных, укороченных, удлиненных); данные о вне рейсовых пробегах и переброске поездов по графику согласования работы маршрутов и др. В строчках столбца *В* перечисляют номера всех поездов, обслуживающих маршрут, и для каждого из них указывают тип подвижного состава, составность, прикрепление к депо, время выхода из депо, нулевой пробег (в километрах и минутах), пункт начала движения на маршруте. В шапке поля *Г* основного текста расписания отводят столбцы на все рейсы периода движения и для каждого указывают контрольные точки маршрута (или только конечные станции), а на самом поле *Г* — время их проследования каждым рейсом (для конечных станций — время прибытия и отправления); пункты и время смены поездных бригад и обеденных перерывов; пункт и время окончания движения; время отправления и прибытия в депо на отстой или в профилактический ремонт. В столбце *Д* приводят сводные данные о движении каждого поезда: количество плановых рейсов (нормальных, укороченных, удлиненных); продолжительность работы в часах по сменам; вагоно-километры линейной работы и др.

Маршрутное расписание — самое подробное расписание; оно содержит все сведения о движении на маршруте. Все другие расписания (поездные, для маршрутных диспетчеров и др.) составляют в форме выборки из маршрутного.

Большим недостатком табличного расписания является его ненаглядность. Это затрудняет и пользование им и его составление. Поэтому довольно часто применяют графическую форму расписаний движения — графики движения.

А		
Б		
В	Г	Д

Рис. 18.11

Форма табличного маршрутного расписания движения

График движения (рис. 18.12) представляет собой график зависимости пути от времени. По оси ординат на нем откладывают длину маршрута с указанием конечных станций *А*, *Е* и главных промежуточных точек маршрута *Б*, *В*, *Г*, *Д* (контрольных точек), включая точки ввода поездов на маршрут (обычно они совпадают с конечными станциями или контрольными точками маршрута). По оси абсцисс откладывают время в минутах.

На рис. 18.12 показан вариант графика движения на маршруте, когда поезда поступают на него из депо *Д* в средней точке *В* в двух направлениях: к конечной станции *Е* и конечной станции *А*. Движение каждого поезда изображено отрезками прямых линий, соединяющих точку, соответствующую моменту времени и месту входа поезда на маршрут, с точками, соответствующими моментам времени прохождения им основных промежуточных пунктов и конечных станций маршрута. При одинаковой скорости движения на участках все эти точки ложатся на одну прямую, а при разных скоростях — образуют ломаную линию. Стоянки поездов на конечных станциях и на линии изображают отрезками прямых, параллельных оси времени.

Построение графика движения рис. 18.12 выполнено для трех часовых интервалов времени утреннего выпуска (5—6, 6—7 и 7—8 ч), причем так, чтобы к началу каждого расчетного часового интервала на маршруте было примерно равномерно рассредоточено полное расчетное количество поездов, требующееся для обслуживания пассажироперевозок этого интервала. Для обеспечения начала движения в 5 ч утра на маршруте необходимо иметь четыре поезда. Первый из них выходит на маршрут в 4 ч 26 мин (не считая пробега от депо *Д* до маршрута) по направлению к конечной станции *Е*. К моменту начала своего расчетного периода работы он находится на маршруте между контрольными пунктами 5 и 4 и движется в направлении к конечной станции *А*. Его бесполезный нулевой пробег по маршруту, показанный пунктирной линией, составляет 34 мин. Второй поезд выходит на маршрут в 4 ч 34 мин по направлению к конечной станции *А*. К моменту начала расчетного периода он находится на маршруте между контрольными пунктами *А* и *Б* и движется в направлении к конечной станции *Е*. Бесполезный нулевой пробег этого поезда по маршруту равен 36 мин. Аналогично прослеживаются моменты ввода на маршрут поездов 3 и 4. Расчетный интервал между

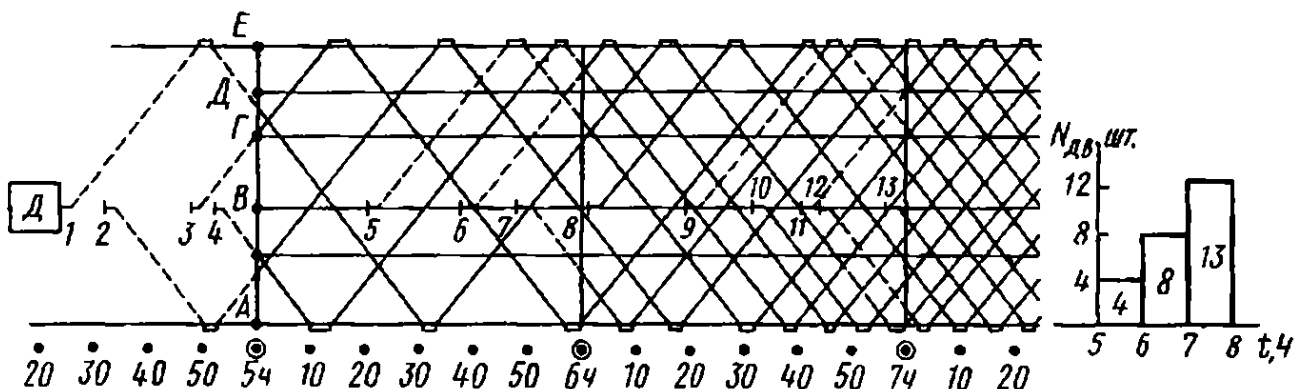


Рис. 18.12

Вариант графика движения поездов на маршруте *А—Е* в часы утреннего выпуска

поездами в период движения между 5 и 6 ч составляет 22 мин (маршрут работает как загородный). В период между 6 и 7 ч на маршруте должно работать восемь поездов. Следовательно, к 6 ч на него нужно выпустить четыре добавочных поезда. Три из них (поезда 5, 6 и 7) выпущены на маршрут до начала расчетного интервала, а четвертый (поезд 8) — в его начале. Благодаря этому бесполезный пробег поезда 8 по маршруту равен нулю. Аналогично к 7 ч утра на маршрут вводится еще пять добавочных поездов 9—13. Регулировка (выравнивание) интервалов между поездами осуществлена изменением времени стоянки поездов на конечных станциях.

По графику движения легко анализировать характер движения на маршруте и определять время проследования поездами всех промежуточных пунктов.

Внутри расчетных периодов движения расчетная скорость сообщения всех поездов одинакова, так как предполагается, что все они работают в одинаковом режиме. Поэтому их кривые путь—время параллельны (рис. 18.12) — это *параллельные графики движения*. Параллельный график движения имеют все линии ГМПТ с запрещенным обгоном.

Для линий ГМПТ с разрешенным обгоном при чередовании обычных поездов с экспрессными применяют *смешанный график движения*. На рис. 18.13 дан вариант смешанного графика движения для маршрута А—В, на котором нечетные поезда работают как обычные, а четные — как экспрессные. Для большей наглядности движение поездов показано только в одном направлении — от А к В. Введение экспрессных маршрутов выгодно и хозяйству, так как дает значительное повышение средней эксплуатационной скорости, и пассажирам, так как приводит к сокращению затрат транспортного времени при поездках на дальние расстояния.

Расписания движения используют для контроля движения ГМПТ на маршрутах. В соответствии с этим различают два вида расписаний движения: 1) расписание планового движения (заданного движения); 2) расписание исполненного (фактического) движения. Эти расписания для удобства сравнения обычно совмещают. Для этого в табличные расписания на каждый показатель вводят две графы: «по плану» и «фактически». Аналогично на график заданного движения наносят график исполненного движения.

При составлении расписаний приходится учитывать: особенности распределения пассажиропотоков маршрута в каждый расчетный период времени; трассу маршрута; вместимость станционных площадок для

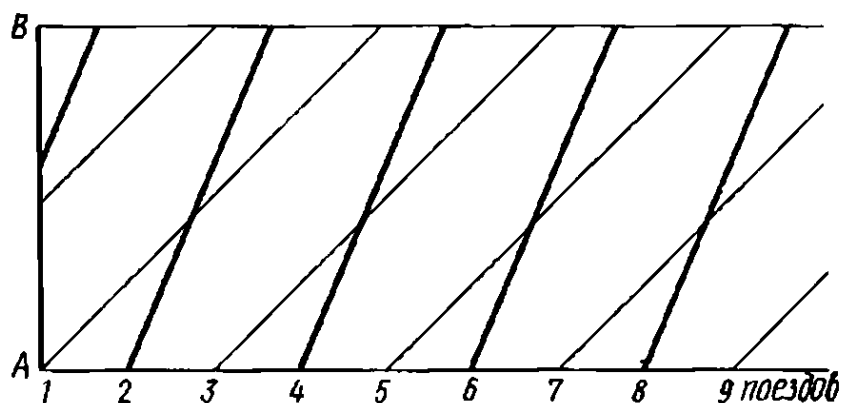


Рис. 18.13

Смешанный график движения обычных и экспрессных поездов на линиях ГМПТ с разрешенным обгоном

отстоя подвижного состава; условия регулирования движения на маршрутах; возможности обеспечения маршрутов подвижным составом; наличие условий для отдыха поездных бригад; график подачи поездов на техническое обслуживание и т. д. Поэтому при составлении расписаний нельзя обойтись без многократного варьирования.

При ручном составлении расписания движения на один маршрут квалифицированный работник службы движения должен затратить до 5—6 рабочих дней и просчитать при этом до 5—6 вариантов. Для ускорения и снижения трудоемкости этих расчетов расписания движения в настоящее время составляют на ЭВМ.

Машинное расписание имеет матричную форму, в которой каждому поезду отводится одна строка. Специальным кодом в ней записывают номер поезда; номер депо его приписки; тип поезда; моменты отправления из депо, прибытия на конечный пункт маршрута и т. д. Алгоритм расчета составляют по общим правилам матричного исчисления, причем в него входят те же расчеты, что и при ручном составлении расписаний.

Определяющим моментом составления расписаний является правильная подготовка исходной информации, которая должна учитывать все характеристики пассажироперевозок на маршруте, количество и типы используемого подвижного состава, экономически выгодный режим работы поездных бригад и т. д. Всю эту информацию рассчитывают по специальным методикам.

Алгоритм составления маршрутных расписаний отличается большой сложностью и громоздкостью. Он связывает в единое целое ряд самостоятельных логических задач, на которые распадается задача расчета расписаний. Быстродействующие ЭВМ позволяют просчитать и сравнить множество вариантов в короткое время и выдать оптимальный вариант расписания примерно за 15—20 мин. Расписания печатаются в виде, пригодном для непосредственного использования. Автоматизация составления маршрутных расписаний не только значительно снижает их трудоемкость, но и повышает оперативность управления системой ГМПТ, позволяет учитывать изменения характеристик пассажироперевозок во времени и высвобождает квалифицированных специалистов для решения творческих задач организации движения.

Основными расчетными операциями алгоритма составления маршрутных расписаний являются (на примере методики составления маршрутных расписаний, разработанной Киевским трамвайно-троллейбусным управлением):

Расчет требуемого количества подвижного состава по всем часовым интервалам периода движения. Из условия равенства пассажиропотока $F_{\max}$ на наиболее нагруженном (лимитирующем) участке маршрута предоставляемом для его освоения пассажирскими местами (последние равны количеству поездов, определяемому отношением T/t_n , где $T = 60$ мин — расчетный часовой интервал и t_n — интервал между поездами, умноженный на расчетную вместимость m_p поезда) с учетом $N_{\text{лв}} = t_p/t_n$ (t_p — время оборотного рейса в расчетный период T) получаем расчетную формулу

$$F_{\max} = Tm_p/t_n = Tm_p/(t_p/N_{\text{лв}}) \quad (18.43)$$

Из (18.43) определяют требующуюся вместимость поездов m_p при принятом интервале и требующееся количество поездов $N_{\text{лв}}$ для освоения пассажироперевозок в расчетный период T :

$$m_p = F_{\text{макс}} t_{\text{и}} / T; N_{\text{лв}} = F_{\text{макс}} t_p / (T m_p) \quad (18.44)$$

Минимальный маршрутный интервал в часы пик принимают $t_{\text{и.мин}} = 1-2$ мин, а максимальный в часы спада пассажироперевозок — $t_{\text{и.макс}} = L_{\text{ср}} / v_{\text{с}}$, где $L_{\text{ср}}$ — средняя длина пассажиропоездки и $v_{\text{с}}$ — скорость сообщения на маршруте.

Распределение маршрутных интервалов по расчетному часовому периоду. Как правило, стремятся обеспечить равномерный маршрутный интервал в течение расчетного часового интервала, в том числе и при съеме подвижного состава на осмотр и обеденный отстой. Однако при резкой внутричасовой неравномерности пассажироперевозок для улучшения использования подвижного состава по вместимости и снижения переполнения целесообразно сгущение интервалов в моменты максимальной нагрузки за счет перекомандирования подвижного состава с других маршрутов, организации укороченных маршрутов и раздвижки интервалов.

Количество подвижного состава, требующееся для обслуживания пассажироперевозок, определяют по часовой нагрузке лимитирующего участка маршрута.

Пример. Пусть нагрузка лимитирующего участка маршрута распределяется по десяти-минутным интервалам расчетного часа пик (рис. 18.14, строка 1). Суммарная часовая нагрузка участка будет:

$$F_{\text{чп}} = \sum_{\Delta t}^n F_{\Delta t} = 240 + 460 + 500 + 830 + 870 + 560 = 3460 \text{ пасс/ч},$$

где $F_{\Delta t}$ — нагрузка интервала Δt расчетного часа пик, $n=6$ — количество интервалов Δt в рассматриваемом часе пик.

Предположим, что для обслуживания пассажироперевозок маршрута принят подвижной состав с максимальной расчетной вместимостью $m_p = 120$ мест. Соответствующая часовой нагрузке $F_{\text{чп}}$ и вместимости m_p частота движения поездов J_p (количество поездов в расчетный час пик) и интервал движения $t_{\text{и.р}}$ будут:

$$J_p = F_{\text{чп}} / m_p = 3460 / 120 = 28,8 = 29 \text{ поездов/ч}; \quad t_{\text{и.р}} = 60 / J_p = \\ = 60 / 29 = 2,06 \text{ мин.}$$

При составлении маршрутных расписаний интервал округляют до пелых минут. Примем $t_{\text{и.р}} = 2$ мин (строка 2), тогда принятое количество поездов в расчетный час пик

$$J_{\text{пр}} = 60 / \overline{t_{\text{и.р}}} = 60 / 2 = 30 \text{ поездов/ч.}$$

Если не учитывать внутричасовой неравномерности пассажироперевозок, то количества поездов $\overline{N_{\Delta t}}$, обслуживающих все расчетные интервалы Δt , будут одинаковы:

$$\overline{N_{\Delta t}} = J_{\text{пр}} / n = 30 / 6 = 5 \text{ (строка 3).}$$

Следовательно, будет одинаковым и количество мест в поездах, обслуживающих интервалы Δt расчетного часа пик:

При распределении подвижного состава внутри расчетного часа «пик» с учетом внутри-часовой неравномерности пропорционально пассажиропотоку получим:

а) расчетное количество поездов $N_{\Delta t p i}$ требующееся для обслуживания каждого внутри-часового периода (строка 6)

$$N_{\Delta t p i} = J_p F_{\Delta t i} / \sum^n F_{\Delta t i},$$

где индекс i относится к i -му интервалу Δt .

Полученные величины $N_{\Delta t p i}$ округляем до целых чисел $N_{\Delta t n p i}$ так, чтобы сумма $N_{\Delta t n p i}$ по всем внутричасовым интервалам Δt была равна J_p (строка 7);

б) требующийся расчетный интервал между поездами внутри интервалов (строка 8)

$$t_{\Delta t p i} = \Delta t / N_{\Delta t n p i}.$$

Принимаемый интервал между поездами берем с округлением до целых минут так, чтобы сумма интервалов за период Δt была равна $N_{\Delta t n p i}$ (строка 9);

в) количество мест в поездах обслуживающих интервалы:

$$m_{\Delta t i} = N_{\Delta t n p i} m_p \text{ (строка 10);}$$

г) коэффициент наполнения поездов по внутричасовым интервалам

$$k_n = F_{\Delta t i} / m_{\Delta t i} \text{ (строка 11).}$$

Сравнение строк 5 и 11 наглядно показывает преимущества распределения подвижного состава внутри часов пик пропорционально изменениям пассажиропотока.

В данном примере в результате регулируемого распределения достигнуто практически равномерное наполнение поездов во все внутричасовые интервалы нагрузки лимитирующего участка пассажирами.

Правило равномерных интервалов не применяют и при организации укороченных маршрутов. Чтобы укороченный маршрут взял пассажиров, интервал на нем должен быть меньше интервала основного маршрута, причем соотношение между ними определяется соотношением количества пассажиров, которых устраивает укороченный и основной маршрут (см. § 17.4).

Эффективный принцип регулирования распределения подвижного состава на маршрутах в часы пик — система командирования поездов с маршрута на маршрут. Командирование поездов является регулируемым мероприятием, направленным на повышение эффективности работы подвижного состава и улучшение качества обслуживания пассажиров. Его применяют при несовпадении часов пик на разных маршрутах во времени при необходимости усиления движения.

Закрепление подвижного состава депо за маршрутами по критерию минимума нулевых пробегов [(18.42) или (18.34)] с теми или другими ~~дополнительными~~ ограничениями (требованием прикрепления маршрутов, как правило, к одному депо, ограничениями по типу допустимого к использованию подвижного состава на тех или других маршрутах и др.).

Расчет количества подвижного состава, снимаемого с маршрутов в часы спада пассажироперевозок для передачи в депо на техническое обслуживание (по графику технического обслуживания) и на отстой (см. § 18.3).

Расчет распределения подвижного состава маршрутов по сменности (см. § 18.5).

Расчет отстоя подвижного состава на обеденных перерывах с компенсацией выезда его из движения другими поездами (см. § 18.5).

Координация работы маршрутов в части согласования движения поездов на участках совмещения маршрутов. На участках совмещения маршрутов с равными интервалами движения поездов расписаниями предусматривают равные межмаршрутные интервалы, т. е. равномерное чередование поездов разных маршрутов. На участках совмещения маршрутов с разными маршрутными интервалами координация заключается в исключении одновременного прибытия поездов разных маршрутов к участку совмещения.

§ 18.8. Пути повышения оперативности планирования движения в системах обычного ГМПТ с использованием возможностей ЭВМ

Существенным недостатком современной практики планирования движения обычных систем ГМПТ является ее низкая оперативность в связи с большим разрывом во времени между процессом планирования движения и реализацией разработанных планов движения, доходящим до одного месяца и более. Чем больше этот разрыв, тем больше накапливается различных изменений, не учтенных в плане и приводящих к его ухудшению. Поэтому сниже-

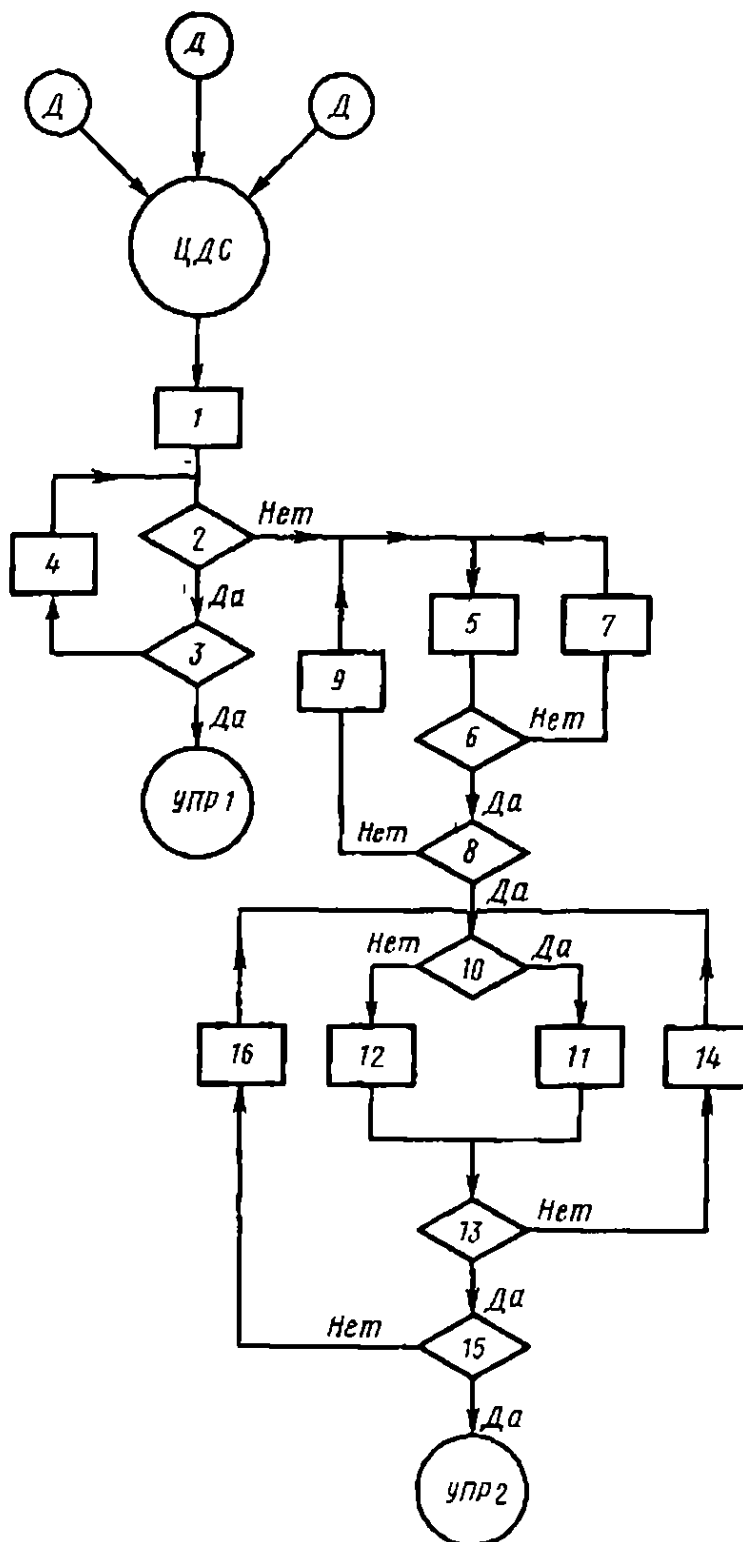


Рис. 18.15

Схема алгоритма оперативной корректировки распределения подвижного состава по маршрутам при отклонениях фактического выпуска от планового

ние трудоемкости и повышение оперативности планирования движения является большим резервом улучшения экономических показателей и качественных характеристик пассажироперевозок, которые могут быть реализованы планированием движения с использованием ЭВМ.

Благодаря быстрдействию ЭВМ способны сократить разрыв между планированием движения и его практической реализацией до суток и менее. Академией коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова разработан алгоритм оперативного планирования движения ГМПТ на каждые предстоящие сутки (рис. 18.15). По этому алгоритму ЭВМ осуществляет перераспределение подвижного состава между маршрутами на предстоящие сутки в случаях, когда депо по разным причинам не может обеспечить плановый выпуск. Утром перед началом выпуска поездов на маршруты диспетчеры депо D передают на центральную диспетчерскую станцию ЦДС сведения о фактическом количестве подвижных единиц ПЕ, готовых к выпуску на линию. В блок 1 ЭВМ вычислительного центра ЦДС вводят данные о плановом распределении поездов по маршрутам ($\sum N_{\text{п.пл}}$) и фактическом выпуске ($\sum N_{\text{п.ф}}$), который могут обеспечить депо D . В блоке сравнения 2 они сопоставляются. Если по депо $D \sum N_{\text{п.ф}} = \sum N_{\text{п.пл}}$, то эта информация передается в логический блок 3, где решается логическая задача: «Все ли депо рассмотрены?» Если «Да», то у всех депо фактические выпуски соответствуют плановым. Информация об этом поступает в центр управления УПР1 и передается им в депо как директива на выпуск. Если рассмотрены не все депо, то от блока 3 через блок 4 осуществляется переход к сравнению фактического выпуска с плановым для депо D_{i+1} и далее до тех пор, пока не будут рассмотрены все депо. Если сравнение фактического выпуска с плановым по депо D_i покажет, что $\sum N_{\text{п.ф}i} < \sum N_{\text{п.пл}}$, то управление передается на блок 5 — подпрограмму выемки ПЕ из выпуска с маршрутов депо D_i по критерию минимума потерь выручки. В эту подпрограмму заложены зависимости $B(N)$ доходов (выручки) B от количества работающих на линии ПЕ для каждого из маршрутов всех депо.

В отношении доходов маршруты обычно неравноценны, благодаря чему каждый маршрут имеет разный вид этой зависимости. Подпрограмма осуществляет поиск среди маршрутов, обслуживаемых депо D_i , такого маршрута, на котором снятие ПЕ вызывает наименьшие потери выручки.

В блоке 6 решается логическая задача: «Все ли ПЕ депо D_i распределены по маршрутам?» ($\Delta N_i = \sum N_{\text{п.ф}i} - \sum N_{\text{п.пл}i} = 0$). Если «Да», то включается блок 8, если «Нет» — переход через блок 7 к поиску по тому же критерию маршрута, на котором следует снять следующую ПЕ, и далее до тех пор, пока не будут сняты с выпуска все ΔN_i ПЕ.

В блоке 8 решается задача: «Все ли депо, имеющие недовыпуск, рассмотрены?». Если «Нет», то через блок 9 осуществляется переход к повторению тех же расчетов для депо D_{i+1} и далее до тех пор, пока не будут рассмотрены все депо. Если на выходе блока 8 появляется сигнал «Да», то включается подпрограмма выбора диспетчерского воздействия по регулированию выпуска на тех маршрутах депо D_i , которые имеют недовыпуск ПЕ на линию. Подпрограмма рассчитана так, что при недовыпуске на маршрут, составляющем менее 20% выпуска, в качестве

диспетчерского воздействия осуществляется раздвижка (увеличение) интервалов движения поездов на маршруте, а при недовыпуске, превышающем 20% выпуска, — перевод маршрута на другое расписание.

В блоке 10 решается логическая задача: «Недовыпуск k -го маршрута меньше 20%». Если «Да», то включается блок 11 — подпрограмма раздвижки интервалов, если «Нет» — блок 12 (подпрограмма перевода маршрута на другое расписание). Затем в блоке 13 решается вопрос: «Все ли маршруты депо D_i , имеющие недовыпуск, рассмотрены?». Если «Да», то осуществляется переход к программе 15, если «Нет» — переход через блок 14 к поиску диспетчерского воздействия по регулированию выпуска на $i + 1$ -м маршруте и далее, пока не будут рассмотрены все маршруты депо D_i , имеющие недовыпуск.

В блоке 15 решается задача: «Все ли депо, имеющие маршруты с недовыпуском ПЕ, рассмотрены?». Если «Нет», то через блок 16 осуществляется переход к выбору диспетчерских воздействий по регулированию выпуска на маршрутах депо D_{i+1} и далее по всем депо, имеющим маршруты с недовыпуском ПЕ на линию. Если «Да», то информация о принятых решениях по диспетчерскому регулированию выпуска на маршрутах, имеющих недовыпуск, передается в центр управления УПР2 и через него в депо как директива на выпуск.

Машинные расчеты оперативного ПД на каждые сутки имеют большое будущее, но их алгоритмы требуют еще уточнения. В частности, большое влияние на фактический выпуск подвижного состава оказывает расстановка его на территории отстойных площадок депо. Ее осуществляют в соответствии с намечающимся утренним выпуском следующих суток, но по разным причинам плановая расстановка может нарушаться, что рассмотренным алгоритмом не учитывается.

Г л а в а 19

КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГПТ

§ 19.1. Задачи и содержание контроля и регулирования движения ГПТ

Работа ГМПТ организуется так, чтобы обеспечить высокое качество транспортного обслуживания пассажиров при максимальном использовании всех материальных фондов транспортного хозяйства: подвижного состава; дорожных сооружений и устройств; системы электроснабжения и пр. В соответствии с этими задачами разрабатывают план движения — наряд поездов и расписание, отражающие прогнозируемое соответствие между запросами на пассажироперевозки и их обеспечением. Однако реальные пассажироперевозки непрерывно отклоняются от заложенных в плане движения (рис. 19.1), где ΔZ , $\Delta ДД$, $\Delta П$ — факторы, вызывающие отклонения пассажироперевозок от плановых: колебания запросов ΔZ , условий дорожного движения $\Delta ДД$ (транспортной ситуации) и погодных условий $\Delta П$; B , $ППС$, $ВД$ — факторы, обеспечивающие восстановление соответствия выдаваемых на линию пассажиромест запросам на пассажироперевозки. Непрерывные колебания запросов на пассажироперевозки определяют соответствующие колебания

качественных и количественных показателей работы транспортных предприятий. При нерегулируемом движении эти колебания выходят за допустимые пределы и приводят к недопустимому ухудшению показателей пассажироперевозок. Поэтому для ГМПП обязательна организация специальных систем контроля и регулирования пассажироперевозок во времени, цель которых — именно регулирование, а необходимость контроля возникает как сопутствующая задача.

Мероприятиями по регулированию пассажироперевозок являются регулирование выпуска подвижного состава из депо *В*, перераспределение подвижного состава между маршрутами *ППС* и восстановление планового движения *ВД*, нарушаемого сбоем и дорожно-транспортными происшествиями ДТП. Исполненное движение *ИД* выступает, таким образом, как сплав фактических запросов на пассажироперевозки и их фактического обеспечения пассажирскими местами в подвижном составе. Если воспользоваться терминологией теории автоматического управления, можно сказать, что хозяйства ГМПП должны представлять собой саморегулирующиеся системы с обратными связями, оптимизированные по критерию максимума группы показателей, характеризующих количественные и качественные стороны пассажироперевозок.

Контроль и регулирование движения ГМПП имеют целью:

1) поддержание в пределах допустимых отклонений заданного расписанием оптимального расчетного режима работы подвижного состава на линии и ликвидацию возникающих нарушений движения, минимизацию расхода горючего и электрической энергии на движение;

2) обеспечение бесперебойности движения подвижного состава на линии; восстановление оптимального режима движения, нарушенного задержками и ДТП; оперативное руководство восстановительными средствами скорой технической помощи для устранения задержек движения;

3) изменение режимов движения подвижного состава на маршрутах в соответствии с требованиями техники безопасности при изменениях метеорологических или других условий относительно заложенных в расписании;

4) оперативное руководство работой линейного персонала службы движения. Контроль за выполнением правил технической эксплуатации подвижного состава и линейных сооружений, инструкций по безопасности движения, а также приказов и распоряжений, относящихся к движению;

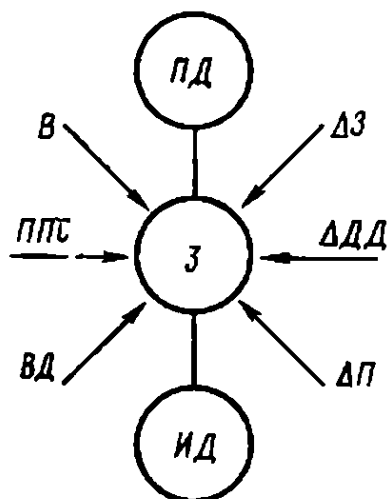


Рис. 19.1

Схема отношений между запросами *З* на пассажироперевозки, плановым движением *ПД* и исполненным движением *ИД*

5) проведение анализа выполненного движения на маршрутах.

Контроль и регулирование движения МПТ осуществляет диспетчерский отдел службы движения, укомплектованный соответствующим штатом и обеспеченный необходимыми техническими средствами. Штат диспетчерских отделов и находящиеся в его распоряжении технические средства контроля и регулирования движения определяются объемом транспортной работы и развитием транспортных сетей МПТ. В городах с небольшим развитием МПТ ограничиваются простейшими техническими средствами контроля и регулирования движения и небольшим штатом диспетчерских отделов. В городах с развитой системой МПТ и большим объемом пассажироперевозок соответственно усложняются и технические средства контроля и регулирования движения, и структура диспетчерских отделов.

§ 19.2. Принципы контроля и регулирования движения потоков немаршрутного городского транспорта

Городское движение делят на немаршрутное и маршрутное.

Немаршрутное (свободное) движение — это движение, не ограниченное расписаниями и выбором маршрута (индивидуальный транспорт, немаршрутные такси, грузовой транспорт). *Полусвободным движением* может быть названо движение в системах РРТ. *Маршрутное движение* — это движение, регламентированное расписанием, выбором маршрута и режимом движения на маршруте (ГМПТ).

Принципы и методы регулирования движения немаршрутного и маршрутного ГПТ различны.

Целью регулирования потоков немаршрутного транспорта является обеспечение им условий для безостановочного движения. Для распределения и регулирования движения потоков немаршрутного транспорта в настоящее время используют дорожную разметку, дорожные знаки и различные виды светофорной сигнализации, действие которых при совместном регулировании движения немаршрутных и маршрутных транспортных средств распространяется и на все виды МПТ (автобус, троллейбус, трамвай). Дорожные знаки, разметка проезжей части улиц и дорог, а также дополнительные средства дорожной информации регламентированы ГОСТ 10807—71.

Дорожные знаки разделяются на предупреждающие, запрещающие, предписывающие и указательные.

Предупреждающие дорожные знаки информируют (предупреждают) водителей транспортных средств о приближении к участкам улицы или дороги с повышенной опасностью для движения и о характере предстоящей опасности. Общий признак предупреждения для этих знаков — треугольник с красным окаймлением. В городах и других населенных пунктах предупреждающие знаки устанавливают на расстоянии 50—100 м до начала опасного участка. Всего таких знаков 25.

Запрещающие дорожные знаки запрещают водителям транспортных средств и пешеходам движение или выполнение определенных действий. Общий признак запрещения для этих знаков — круг с красным окаймлением или красным фоном (кроме знака «проезд без остановки запре-

щен», имеющего форму восьмиугольника). Запрещающие знаки устанавливаются непосредственно перед участками дорог или местами, на которых введены соответствующие ограничения, либо на расстоянии от них, указанном на табличке. Всего таких знаков (со знаками окончания действия ограничений) 25.

Предписывающие дорожные знаки разрешают движение только в определенных направлениях или только транспортных средств определенного вида. Общий признак предписания для этих знаков — голубой круг. Предписывающие знаки, как и запрещающие, устанавливают непосредственно перед участками дорог или местами, на которые распространено их действие, либо на расстоянии от них, указаниом в табличке. Всего предписывающих знаков (вместе со знаком «конец ограничения минимальной скорости») 8.

Указательные дорожные знаки информируют водителя об особенностях дорожной обстановки и расположенных на пути следования объектах, обозначенных на знаках. Общий признак указания для этих знаков — прямоугольник или стрелка с преимущественно голубым фоном и соответствующими знаками или названиями.

Дорожными знаками и разметкой регулируют распределение свободных потоков транспорта по дорожной сети в соответствии с назначением дорожных проездов, их пропускной способностью, характеристиками и видом транспортных средств, в результате чего повышаются однородность транспортного потока и скорость движения транспортных средств, снижается опасность ДТП, повышается пропускная способность транспортных проездов.

Регулирование движения свободных потоков транспорта по уличным проездам осуществляют регулировщики ОРУД или светофорная сигнализация. Назначением регулирования движения являются: повышение скорости и обеспечение безопасности движения транспорта и пешеходов; повышение пропускной способности транспортных проездов и площадей городов; снижение потерь времени, горючего и электроэнергии, излишнего транспортного шума и газообразования, возникающих при скоплениях и задержках транспорта у перекрестков.

Регулирование движения регулировщиками ОРУД на перекрестках и в других конфликтных точках транспортной сети отличается гибкостью, так как регулировщик оценивает транспортную ситуацию на перекрестке и выбирает длительность фаз регулирования в соответствии с фактической потребностью. Однако этот вид регулирования требует большого штата регулировщиков, не выгоден по экономическим соображениям и не обеспечивает координированного управления движением в пределах всего города и районов движения, так как регулировщик не видит транспортной ситуации за пределами своего перекрестка. Поэтому основным видом регулирования движения в настоящее время — светофорное регулирование.

Рабочим органом всякой светофорной сигнализации служит светофор. Применяют точечные или очковые светофоры различных конструкций: одно-, двух- и трехочковые; с вертикальным и горизонтальным расположением фонарей: с подвеской на тросах, с установкой на кронштейнах у стен и столбов, с установкой на колоннах.

Виды светофорной сигнализации отличаются методами управления светофорами. Наиболее простыми системами управления светофорами являются системы ручного управления, простого автоматического жесткого регулирования, координированного жесткого однопрограммного или двух-, трехпрограммного регулирования с постоянными параметрами.

Длительность фаз регулирования *при ручном управлении движением* задает и меняет регулировщик, который устанавливает ее в зависимости от потребностей движения на регулируемом перекрестке. В своей основе эта система светофорного регулирования ничем не отличается от ручного регулирования движения регулировщиком и характеризуется, следовательно, теми же недостатками. Разница состоит только в том, что регулировщик управляет движением не жестами и положением своего тела, а с использованием технических средств — светофоров, облегчающих его труд.

При простом автоматическом жестком регулировании движения переключение и длительность фаз светофорной сигнализации обеспечиваются простейшей автоматикой без участия регулировщика и определяются заложенной в ней программой. Таких программ может быть одна и несколько (две, три), рассчитанных на разные периоды движения. При этом безостановочное движение транспорта возможно только в случае, когда водители выбирают соответствующую скорость движения на каждом перегоне так, чтобы подойти к перекрестку при горении зеленой фазы светофора. Возможность такого регулирования движения водителями транспортных средств определяется тем, что все светофоры города или района движения при простом автоматическом жестком регулировании загораются и гаснут одновременно. Поэтому водитель, зная расстояние между перекрестками, может оценить требующуюся скорость для прохождения этого расстояния так, чтобы подойти к перекрестку во время горения зеленой фазы светофора.

При координированном жестком регулировании движения на магистралях моменты включения зеленой фазы светофоров на перекрестках сдвигают во времени так, чтобы обеспечить безостановочное продвижение транспорту. Такая система регулирования получила название «зеленой волны». Требующийся сдвиг моментов времени включения зеленой фазы светофоров при зеленой волне определяют по диаграммам $l(t)$, построенным для заданной магистрали $ОЕ$ с перекрестками $0, A, B, C, D$ (рис. 19.2). Рекомендуемая скорость определяет наклон кривой безостановочного движения $ОЖ$ по магистрали. Требующиеся сдвиги между моментами включения зеленой фазы на смежных перекрестках определяются отрезками $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \dots$.

Системы жесткого светофорного автоматического регулирования перекрестков максимально просты и дешевы в эксплуатации, но их характеристики значительно хуже характеристик ручного регулирования, так как они не учитывают фактической транспортной ситуации на городских проездах. Поэтому применение таких систем приводит к увеличению потерь времени транспорта на ожидание у перекрестков, росту транспортного шума и загазованности воздушного бассейна городов. Для устранения этого недостатка применяют системы автоматического

регулирования, учитывающие транспортную ситуацию, хотя все они несравненно сложнее и дороже систем жесткого автоматического регулирования.

Простейшими из этих систем являются системы индивидуального светофорного автоматического регулирования перекрестков. Предложено множество таких систем, но структура всех их одинакова. Эти системы включают в себя три элемента (рис. 19.3):

1) систему индуктивных, электроконтактных, фотоэлектрических или других датчиков — транспортных детекторов D , расположенных на подходах к перекрестку и фиксирующих подходящий к нему транспорт;

2) вычислительный блок (логическое устройство) $ВБ$, накапливающий сигналы датчиков, анализирующий их и задающий в соответствии с результатами этого анализа длительность сигналов светофоров по направлениям движения;

3) исполнительное устройство (светофорный контроллер) K , переключающее сигналы светофоров.

Длительность сигналов светофоров в системах индивидуального автоматического регулирования перекрестков находится в прямой зависимости от величины транспортных потоков, подходящих к перекрестку в пересекающихся направлениях. Поэтому системы автоматического регулирования обеспечивают минимальные задержки транспорта у перекрестков, позволяют максимально повысить их пропускную способ-

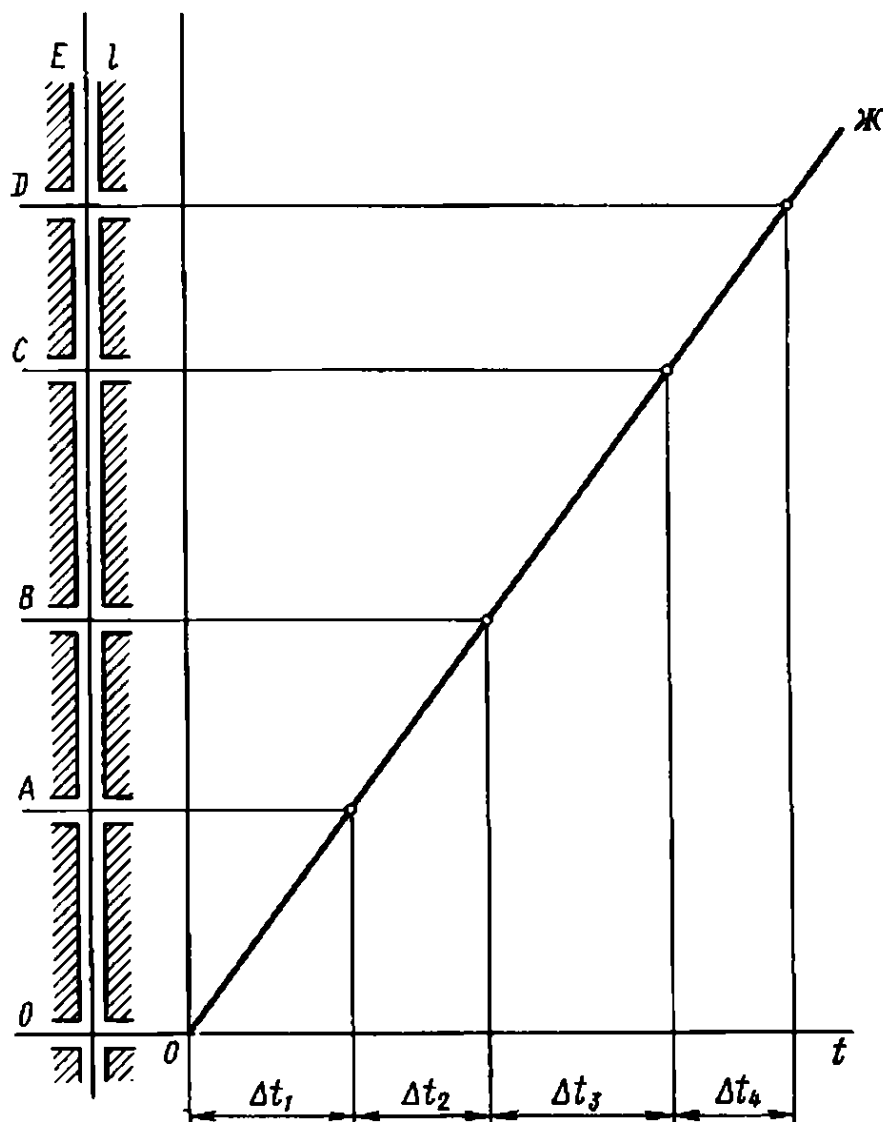


Рис. 19.2

Схема расчета ОД на магистрали по методу зеленой волны

ность. В принципе системы индивидуального автоматического регулирования аналогичны системам ручного управления движением на перекрестках регулировщиками с той лишь разницей, что функции регулировщика выполняет автоматика. Однако автоматика обеспечивает им несравненно большее быстроедействие и исключает ошибки, связанные с индивидуальными особенностями регулировщиков: их квалификацией, физической утомляемостью и т. д. Вместе с тем системы индивидуального автоматического регулирования отличаются тем же недостатком, что и ручное управление: они неспособны учитывать общей транспортной ситуации в регулируемом районе движения и поэтому не могут обеспечить оптимального распределения транспортного потока по всей транспортной сети, что имеет большое значение, когда вся она работает на пределе пропускной способности. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяют разработке систем программно-диспетчерского и телеавтоматического координированного регулирования светофоров в отдельных районах города с особо интенсивным движением или даже в городе в целом с применением ЭВМ. Примером таких систем является система телеавтоматического координированного регулирования дорожного движения «Изумруд», успешно работающая в районе Серпуховской заставы в Москве. ЭВМ в этих системах непрерывно решают задачу оптимизации движения в заданном районе по критерию минимума затрат транспортного времени на ожидание транспортом у перекрестков сигнала, разрешающего движение, и соответственно регулируют длительность горения фаз светофоров.

Применение систем программно-диспетчерского и телеавтоматического координированного регулирования светофоров позволяет максимально использовать пропускную способность уличных проездов, снизить до минимума задержки транспорта и обеспечить оптимальный режим организации движения. Однако вследствие высокой стоимости средств автоматизации они находят пока ограниченное применение и исполь-

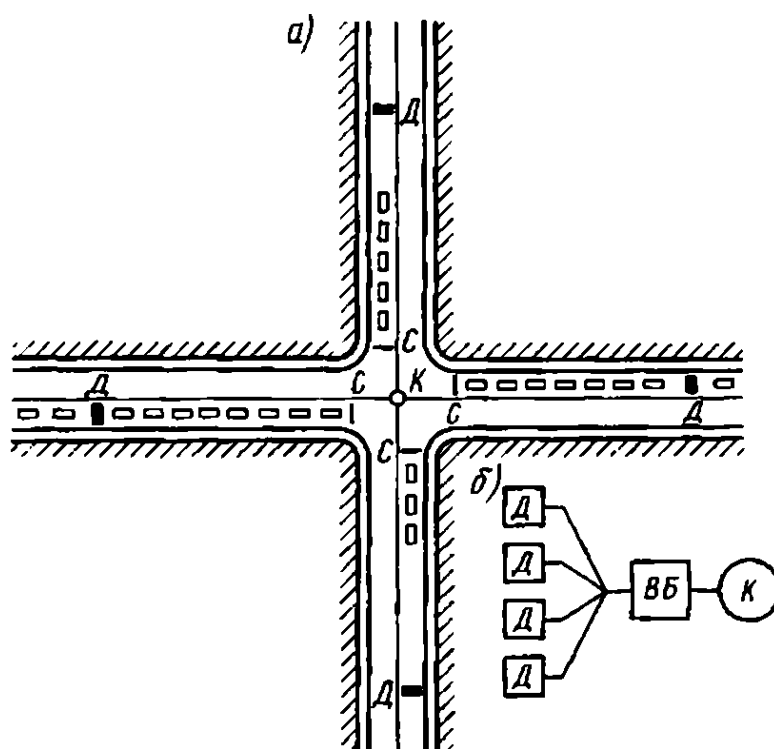


Рис. 19.3

Схема системы индивидуального светофорного автоматического регулирования перекрестков:

а — установка оборудования на перекрестке; б — схема системы; С — стоп-линии; Д — транспортные детекторы; ВБ — логическое устройство (вычислительный блок); К — светофорный контроллер

зуются в основном в городах с особо интенсивным движением транспорта.

Телемеханические системы автоматического регулирования (ТСКУ-3, ТСКУ-4), счетно-решающие устройства «Спрут-1», автоматические регистраторы транспорта АРТ-3 и другие устройства контроля и регулирования движения выпускают в нашей стране серийно.

Высшей формой организации движения транспортных средств является разработка и использование автоматизированных систем управления движением АСУД.

Создание автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУД) стало актуальной задачей в связи с непрерывным ростом автоматизации и неспособностью обеспечения эффективного использования автотранспорта старыми техническими средствами ОД. Установлено, что внедрение АСУД позволяет сократить непроизводительные задержки транспорта на 20—30%, увеличить среднюю скорость его движения на улицах городов на 8—10%, пропускную способность дорожно-транспортной сети на 10—15%, повысить безопасность движения (сократить вероятность дорожно-транспортных происшествий) на 8—10%. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение АСУД в городе с населенностью 500 тыс. жителей дает экономический эффект порядка 400—600 тыс. руб. при сроке окупаемости 1—2 года.

В нашей стране созданы, освоены промышленностью и выпускаются серийно системы координированного управления дорожным движением на магистралях со сменой программ по времени суток (ТСКУ), координированного управления дорожным движением на группе магистралей со сменой программ по ступеням интенсивности движения транспортных потоков (АСКУ) и система управления дорожным движением в крупном городе с применением ЭВМ (система «Город»). Система АСКУ внедрена, в частности, в Баку и находится в стадии промышленной эксплуатации. Опытный образец системы «Город» внедряется в Алма-Ате.

Основными принципами управления движением в системе «Город» являются общее управление движением с учетом интенсивности и скорости транспортных потоков и местная коррекция режимов движения на перекрестках с учетом реальной транспортной ситуации. В системе используется периферийное оборудование (дорожные контроллеры, транспортные детекторы, управляемые дорожные знаки) и управляющие пункты с ЭВМ М-6000, обслуживающие районы управления до 150 перекрестков.

Для столичных городов с интенсивным движением транспорта разработана телеавтоматическая система управления движением транспорта «Старт», опытный образец которой внедряется в Москве. Особенность этой системы — построение по принципу саморегулирующихся систем, обеспечивающее широкие возможности адаптации к условиям различных городов, возможности расширения и тиражирования. Основные функции системы «Старт» следующие:

- 1) автоматическое управление светофорной сигнализацией, а также многопозиционными дорожными знаками и указателями в целях снижения транспортных задержек у перекрестков улиц и на площадях, повышения скоростей движения, уменьшения вероятности транспорт-

ных заторов и повышения безопасности движения транспорта и пешеходов;

2) диспетчерское управление движением транспорта по уличной сети с центрального пункта операторами, получающими информацию от комплекса специальных технических средств о параметрах транспортных потоков и состоянии светофорной сигнализации в крупнейших транспортных узлах города;

3) сбор и обработка статистической информации о параметрах транспортных потоков на уличной сети с целью использования для планирования перевозок и решения различных градостроительных задач.

Система «Старт» включает в себя мощный управляющий вычислительный комплекс, развитую сеть каналов связи и различные виды оборудования, располагаемого на улично-дорожной сети города. Важнейшей задачей, решаемой системой в контуре автоматического управления, является оптимизация режимов работы устройств светофорной сигнализации. В основу системного алгоритма при этом положен принцип макрорегулирования, т. е. выбора оптимальной программы координации движения на сети в целом, согласующей между собой действие светофорной сигнализации отдельных перекрестков в соответствии с изменением реальных условий движения.

Транспортная обстановка на улично-дорожной сети за некоторый отрезок времени описывается набором случайных параметров транспортного потока D как функция интенсивностей J по направлениям движения и средних скоростей $v_{ср}$ движения в узловых точках сети:

$$D = f(\sum J, v_{ср}) \quad (19.1)$$

Движение транспортных потоков в системе может быть охарактеризовано в каждый момент времени множеством таких наборов. На основании их группировки по периодам суток и определения для каждого периода усредненных параметров движения рассчитывают оптимальные для принятых условий базовые программы координации светофорных объектов. Они хранятся в памяти управляющего вычислительного комплекса (УВК), образуя библиотеку программ. Получая информацию о действительных условиях движения, УВК определяет базовую программу регулирования, наиболее отвечающую текущему периоду работы системы, и переходит на нее. Программа задает длительность циклов работы светофорной сигнализации и сдвигов фаз на отдельных перекрестках между собой.

Операция выбора базовых программ представляет собой стратегический уровень управления в системе, на котором учитываются наиболее общие и решающие факторы, определяющие характер движения транспортных потоков в транспортной сети. Следующим, тактическим уровнем управления в системе, является выбор координированного режима работы светофоров с учетом локальных особенностей движения в пределах каждого перекрестка и транспортного узла. На этом уровне используется *алгоритм гибкой координации*, в основе которого лежит поиск достаточно большого разрыва в транспортном потоке, пересекающем магистраль. Хотя длительность фаз при этом случайна, наруше-

ния координации работы перекрестков не наблюдаются, поскольку интервал времени, на который укорачиваются фазы при появлении разрыва в цикле, прибавляется к зеленой фазе по магистрали в следующем цикле. Таким образом, задаваемые из стратегических соображений длительность цикла регулирования и сдвиг момента включения зеленого сигнала остаются неизменными в рамках действующей базовой программы. Следовательно, программы, выбираемые УВК из библиотеки, определяют базу действия системы. Но они могут корректироваться на отдельных перекрестках в соответствии с локальными условиями движения в пределах, обеспечивающих соблюдение стратегических интересов системы, т. е. не являются жесткими.

Помимо коренного усовершенствования управления светофорной сигнализацией в системе «Старт» использованы принципиально новые методы регулирования уличного движения, основанные на применении дистанционно управляемых многопозиционных дорожных знаков и указателей. В точках дорожной сети, расположенных перед зонами потенциально возможных заторов, устанавливают указатели, информирующие водителей о наличии или непосредственной опасности затора, причем так, чтобы они имели возможность совершить объезд. Загоровое и предзагоровое состояния движения выявляются специальными алгоритмами, основанными на расчетах концентрации экипажей по данным о скорости и интенсивности транспортного потока или длины очереди у перекрестков, расположенных в потенциально опасных по заторам зонах.

Управляемые указатели используют также на магистралях для изменения рядности поворотного движения, разрешения или запрещения проезда отдельным видам транспорта, разрешения или запрещения поворотов в соответствии с фактической интенсивностью движения, что позволяет сократить перепробеги транспортных средств, их задержки и повысить безопасность движения.

Комплекс технических средств контура автоматического управления системы «Старт» состоит из средств вычислительной техники, составляющих УВК, подсистемы передачи данных и периферийных устройств. УВК реализуется на агрегатных средствах вычислительной техники и построен по многопроцессорной схеме на базе процессоров М-6000, причем обеспечивается возможность их взаиморезервирования по большинству выполняемых функций. Связь УВК с периферийными устройствами системы, первичная обработка поступающей в центр информации и формирование отдаваемых команд производится специализированными процессорами М-6010.

Подсистему передачи данных составляют устройства телемеханики. Одни из них предназначены для работы на пунктах сбора информации, которые организуют в наиболее важных сечениях магистралей (в них по каждой полосе движения с интервалом 5 м устанавливают два транспортных детектора для контроля скорости движения по величине интервала времени между моментами прохода их экипажем; передача информации осуществляется число-импульсным кодом); другие — управляют светофорными контроллерами и многопозиционными дорожными знаками и указателями. Во всех устройствах телемеханики используется

принцип временного разделения сигналов. Каналами передачи информации являются кабели городской телефонной сети.

Периферийные устройства системы состоят из контроллеров различного назначения и транспортных детекторов. Основной тип контроллера — контроллер для управления трехцветной светофорной сигнализацией. Его нормальный режим работы — переключение светофорных ламп по командам УВК, поступающим через устройства телемеханики. При повреждениях линии связи, устройств телемеханики или аппаратуры управляющего пункта контроллер автоматически переходит на режим автоматического жесткого регулирования от имеющегося в нем резервного программного устройства. Контроллер оборудован системой контроля исправности ламп красных сигналов, пультом ручного управления и может работать в режиме желтого мигающего сигнала. Специальными контроллерами осуществляется переключение многопозиционных знаков и указателей, управляемых из УВК. В качестве транспортных детекторов используют в основном индуктивные и в отдельных случаях ультразвуковые детекторы. Их устанавливают на всех регулируемых перекрестках, а также в пунктах измерения интенсивности и скорости движения транспорта. Поступающая от детекторов в УВК информация о параметрах транспортных потоков во всех контролируемых узлах дорожной сети используется не только для оперативного управления движением, но и накапливается для систематизации и статистической обработки. В результате УВК выдает обработанные статистические данные по часам суток, дням, месяцам и годам об интенсивностях движения по магистралям, улицам и отдельным перегонам дорожной сети, гистограммы интервалов прибытий экипажей, мгновенных скоростей движения и длительностей фаз регулирования с вычислением средних значений, дисперсий и статистических моментов этих величин. Все эти данные представляют собой ценный материал для развития теории транспортных потоков, для градостроителей, сотрудников ГАИ, специалистов плановых органов, работников транспортных и дорожных организаций.

Таким образом, система позволяет исключить трудоемкие натурные обследования транспортных потоков и дает возможность исследования всех основных параметров движения в динамике. Кроме того, эти же статистические материалы являются исходными для корректировки и совершенствования базовых программ и, следовательно, качества и эффективности управления уличным движением в системе. Задача оптимизации базовых программ с учетом характеристик фактического исполненного движения решается УВК методами статистического моделирования.

Комплекс средств диспетчерского управления, используемый штатом операторов и дежурных ГАИ по городу, включает в себя мнемосхему, устройства телевизионного обзора, дисплей и устройства диспетчерской связи.

Мнемосхема представляет собой план-схему дорожно-транспортной сети со световыми индикаторами, встроенными в местах расположения контрольных пунктов. На нее выводится интегральная информация об исправности периферийного оборудования и заторах движения.

Более детальную информацию о движении оператор получает через дисплей (устройство визуального отображения, выполненное на электроннолучевой трубке). По запросу оператора на экран дисплея выводятся в символической и буквенно-цифровой форме данные о параметрах транспортных потоков, состоянии знаков и указателей, режимах работы светофорной сигнализации и функционировании периферийного оборудования любого из регулируемых перекрестков.

Устройства телевизионного обзора позволяют операторам непосредственно наблюдать процесс движения на перекрестках и площадях с наиболее сложными условиями движения.

Для диспетчерской связи операторов со всеми подразделениями ГАИ, городскими службами и организациями используется городская телефонная сеть.

Через имеющийся комплекс технических средств операторы получают исчерпывающую информацию о движении и в случае необходимости могут включиться в процесс управления: сменить базовую программу работы светофорной сигнализации, взять любой перекресток на диспетчерское управление и переключать светофоры на нем по своему усмотрению, изменять положение дорожных знаков и указателей.

По имеющимся расчетам внедрение системы «Старт» в большом городе снижает уровень транспортных задержек у перекрестков в среднем на 25% по сравнению с существующими методами регулирования; обеспечивает снижение числа ДТП вследствие наличия корреляционной связи между уровнем задержек транспорта и аварийностью; увеличивает среднюю скорость движения транспортных средств и снижает расход горючего вследствие сокращения количества остановок в процессе движения; улучшает экологическое состояние городской среды за счет уменьшения выбросов отработанных газов автотранспортом и снижения уровня шумов, связанных с уменьшением количества пусков и торможений; увеличивает пропускную способность транспортной сети, повышает достоверность и оперативность получения статистических данных о реальном движении.

§ 19.3. Правила и организация дорожного движения городского транспорта

Уличное движение отличается повышенной опасностью для всех его участников: водителей транспортных средств, пассажиров и пешеходов. В связи с интенсивным использованием транспорта уровень ДТП в настоящее время чрезвычайно высок. По статистическим данным в ДТП ежегодно погибает более 300 тыс. человек и примерно в 30 раз большее количество людей получают травмы разной степени тяжести. Ежегодный материальный ущерб от ДТП только в США превышает в настоящее время 16 млрд. долл. В связи с этим вопросы организации дорожного движения вырастают до уровня государственных задач.

Сложность решения задач организации дорожного движения связана с исключительной массовостью его участников, которая определяет необходимость введения подробных правил их поведения в различных дорожных ситуациях, позволяющих установить единообразие их дей-

ствий для предупреждения опасных конфликтов на дорогах. Такие правила в настоящее время узаконены во всех странах с более или менее развитым движением транспорта. Кроме того, в связи с непрерывным развитием межгосударственных транспортных связей действует целый ряд международных соглашений в этой области. Первая международная «Конвенция о дорожном движении» была принята по инициативе ООН в 1949 г. Наша страна присоединилась к ней в 1959 г., что положило начало ее участия в международном сотрудничестве по вопросам безопасности дорожного движения. Советский Союз участвовал в Конференции ООН по дорожному движению 1968 г., где были приняты действующие в настоящее время международные соглашения — «Конвенция о дорожном движении» и «Конвенция о дорожных знаках и сигналах», а также в разработке «Европейского соглашения о дорожном движении», которое было принято в развитие «Конвенции о дорожном движении». Оно более детально развивает ряд правил и принципов организации дорожного движения с учетом особенностей его в странах Европы.

Государственные правила дорожного движения должны составляться в развитие международных и не противоречить им. Однако несмотря на существование международных соглашений, правила дорожного движения в разных странах различны в связи с разным уровнем автомобилизации, разным законодательством, разным развитием техники регулирования движения и разными местными традициями. В США, например, до сих пор нет единых правил дорожного движения и в каждом штате действуют свои правила. В СССР первые единые правила дорожного движения были приняты в 1961 г., затем они пересматривались и уточнялись в 1965, 1970 и 1973 гг. Несмотря на это, действующие Правила дорожного движения еще содержат большое количество предписаний, требующих субъективной оценки от участников движения, которая приводит к ДТП. Примером такого требования является предписание водителям выбирать дистанцию и интервал между транспортными средствами в соответствии со скоростью движения или предписание пешеходам переходить проезжую часть на нерегулируемых пешеходных переходах, только убедившись, что переход не создает помех движению. В оценке обоих этих предписаний и водители, и пешеходы могут совершать опасные ошибки. Поэтому правила движения могут действовать эффективно только в сочетании с различными техническими средствами, облегчающими участникам движения восприятие и оценку транспортной обстановки и соответственно совершенствуются по мере совершенствования и внедрения в практику движения этих технических средств.

Действующие Правила дорожного движения имеют силу закона для всех его участников с соответствующей административной, уголовной и материальной ответственностью.

Государственным органом надзора за дорожным движением является в нашей стране Государственная автомобильная инспекция СССР (ГАИ), созданная в 1935 г. Она входит в состав Министерства внутренних дел (МВД) и регулирует всю научно-исследовательскую, проектно-конструкторскую и практическую работу по обеспечению безопасной и технически правильной эксплуатации автомобильного транспорта. В состав ГАИ входит Отдел регулирования уличного движения (ОРУД) в крупных

городах и подразделения дорожной милиции на автомобильных магистралях. Кроме того, вопросами организации и безопасности дорожного движения занимаются Службы организации движения при Министерстве строительства и эксплуатации автомобильных дорог РСФСР и других союзных республик, службы безопасности движения при автотранспортных предприятиях и организациях и др.

§ 19.4. Принципы контроля и регулирования движения маршрутного ГПТ

В отличие от немаршрутных видов ГПТ, для которых регулирование движения сводится к управлению движением транспортных потоков, регулирование движения маршрутного ГПТ строится по принципу управления движением каждого поезда в отдельности. Необходимость регулирования движения каждого поезда в отдельности связана в этом случае с требованием организации движения поездов по расписанию с заданными, возможно более равномерными интервалами, определяющими использование подвижного состава по наполнению пассажирами.

Контроль движения поездов по расписанию имеет целью обеспечение расчетной эксплуатационной скорости, а контроль интервалов — обеспечение нормальных условий пассажироперевозок по наполнению подвижного состава.

Практическим выражением этих основных установок является характерная для ГМПТ *диспетчерская система управления движением* — централизация в одних руках независимо от числа ступеней системы управления: диспетчер каждой более низкой ступени управления подчиняется диспетчеру более высокой ступени и передает ему информацию о фактическом (исполненном) движении; в руках диспетчера высшей ступени регулирования сосредоточивается в сжатом виде вся информация о движении, что и позволяет ему принимать наиболее общие решения по его регулированию.

Основные элементы технологической схемы диспетчерского управления движением ГМПТ следующие:

- 1) получение и передача информации о движении и фактических запросах на пассажироперевозки (или только исполненном движении);
- 2) оперативный анализ фактического движения на соответствие заданному плану движения и фактическому запросу на пассажироперевозки, если сведения о нем поступают;
- 3) информация водителей поездов об отклонениях движения от оптимального, выдача указаний по восстановлению нарушенного движения или о необходимых изменениях движения.

Эти три элемента — общие для любых систем управления движением МПТ независимо от разветвленности транспортной сети и имеющихся технических средств его контроля и регулирования. Принципы же реальной реализации этих элементов контроля и регулирования движения МПТ определяются экономическими соображениями и зависят в основном от: 1) разветвленности транспортной сети МПТ, определяемой объемом пассажироперевозок, т. е. в конечном счете группой города по чис-

ленности населения; 2) развития техники средств контроля и регулирования движения МПТ. В каждом конкретном случае, т. е. практически для городов каждой группы населенности, выбирают такие системы контроля и регулирования движения, которые давали бы максимальный экономический эффект при минимальных затратах.

В основном системы контроля и регулирования движения ГМПТ различают по степени технической оснащенности и делят на три группы:

1) неавтоматические системы диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ, рассчитанные на получение и обработку информации о движении силами работников диспетчерского аппарата (людей) при минимально необходимом обеспечении его средствами информации о движении и связи с поездами;

2) автоматизированные системы диспетчерского контроля и регулирования с автоматизацией процессов получения, передачи и переработки информации о движении при сохранении за диспетчером функций анализа движения и принятия решений по его регулированию;

3) автоматические системы диспетчерского контроля и регулирования с полной автоматизацией процессов получения, передачи и обработки информации о движении, включая его анализ и принятие решений по регулированию при сохранении за диспетчером только функций контроля за работой систем автоматики и решения незапрограммированных задач регулирования движения.

В настоящее время преобладают неавтоматические системы диспетчерского контроля и регулирования движения первой группы — системы операторного диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ — как требующие минимальных капиталовложений (хотя они мало эффективны и нуждаются в большом штате диспетчерского аппарата). Системы автоматизированного и автоматического диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ находятся в настоящее время в стадии разработки и внедрения опытных образцов. Ни установленных принципов их конструирования, ни серийного выпуска нет пока ни в нашей стране, ни за рубежом.

По принципу организации движения маршрутный ГМПТ делят на два класса с принципиально различным решением задач регулирования движения: 1) ГМПТ с организацией движения по принципу прямой видимости впереди идущих поездов; 2) ГМПТ с организацией движения по принципу путевой блокировки. Первую систему используют на всех наземных видах ГМПТ (трамвай, троллейбус, автобус) в обычных условиях движения, характеризующихся достаточно широким визуальным обзором впереди лежащих участков транспортной сети и сравнительно низкими скоростями движения, требующими небольшого тормозного пути при экстренном торможении. Вторая система организации движения используется при работе поездов в условиях, исключающих возможность прямой видимости поездов (метрополитены), и в тех случаях, когда расстояния прямой видимости поездов меньше требуемого тормозного пути при экстренном торможении (скоростные виды транспорта).

Принципиальная схема путевой блокировки межстанционного перегона СП, разделенного на блок-участки БУ, показана на рис. 19.4, а.

В конце каждого блок-участка, выделенного из рельсовой цепи *РЦ* изолированными стыками *С*, устанавливают путевые контактные или магнитные датчики *ПД* (рельсовые педали), срабатывающие при прохождении поезда *П* и осуществляющие через светофорный контроллер *К* переключения ламп светофорной сигнализации. Нормально перед движущимся поездом *П* должен быть зеленый сигнал *З*, за ним красный *Кр*, затем желтый *Ж* и зеленый *З*, как показано на рис. 19.4, а. Питание устройства путевой автоматики получают по линии связи *ЛС*. Наличие перед поездом желтого сигнала требует снижения скорости с готовностью остановки поезда перед запрещающим сигналом, а наличие красного — немедленного экстренного торможения.

При ручном управлении поездами путевая блокировка не обеспечивает полной гарантии их безопасного движения, так как водитель может оказаться не в состоянии управлять поездом или просто не обратить внимания на сигналы светофоров. Поэтому простая блокировка, представляющая собой всего лишь систему путевой сигнализации, дополняется автоматикой безопасности (автостопом), автоматически затормаживающей поезд при входе на блок-участок, огражденный красным сигналом светофора.

Системы путевой блокировки, обеспечивающие автоматическое затормаживание поездов, вступающих на блок-участки, огражденные сигналами, запрещающими движение, называют *автоблокировкой*. Применяют различные системы автостопов. Автостоп наиболее часто используемой электромеханической системы состоит из путевых устройств в виде путевой скобы *С* с электроприводом (рис. 19.4, б) и поездных устройств в виде срывного пневматического клапана с вертикальной рамкой *Р*. Скоба *С* путевого автостопа может находиться в опущенном (горизонтальном) или поднятом (вертикальном) положении, а скоба *Р* поездного автостопа — только в опущенном (вертикальном) положении. Упираясь в путевую скобу при проходе поезда, она отклоняется от вертикального положения и открывает срывной клапан, включающий экстренное торможение поезда. Если скоба путевого автостопа опущена, то зацепления рамки срывного клапана поездного автостопа и ее поворота не происходит и соответственно не происходит самоторможения проходящего через нее поезда.

При неавтоматических системах организации движения путевая блокировка применяется только в случаях, когда она необходима по

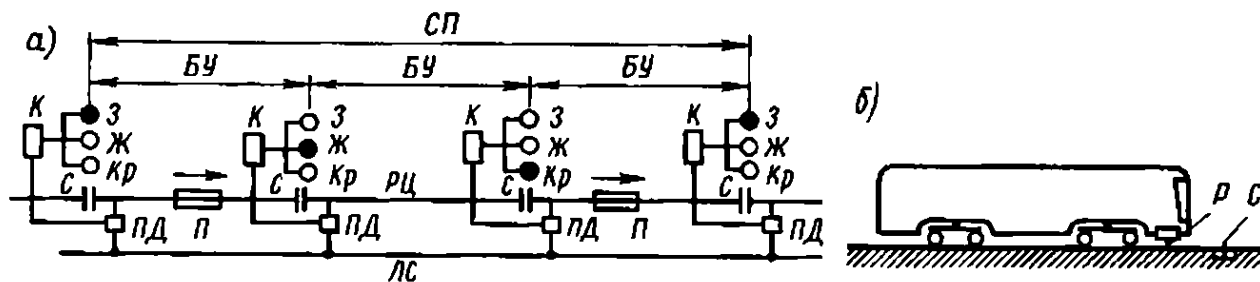


Рис. 19.4

Принципиальная схема путевой блокировки на межстанционном перегоне (а) и размещения устройств автостопа (б)

условиям движения, в основном на метрополитенах и иногда на отдельных участках линий трамвая (на сложных затяжных спусках, участках с односторонним движением и др.). В системах автоматического контроля и регулирования движения поездов путевая автоблокировка является органической частью автоматики для всех видов ГМПТ.

§ 19.5. Неавтоматические системы диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ

Построение систем диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ, рассчитанных в основном на использование диспетчерского аппарата при минимальном техническом обеспечении, зависит только от объема движения и объективно предопределяется ограниченными психо-физическими возможностями человека в отношении восприятия и переработки внешней информации.

В небольших транспортных сетях при незначительном объеме движения диспетчерская безмашинная система контроля и регулирования движения реализуется в виде системы прямого диспетчерского управления (рис. 19.5), при которой диспетчер *Д* осуществляет прямое управление движением поездов, получая информацию об их движении от линейных контролеров (ревизоров) движения *ЛРД* и непосредственно от водителей с использованием телефонной или радиосвязи. Техническим обеспечением этой системы являются средства связи линейных контролеров и водителей с диспетчером в виде телефонной или радиодиспетчерской сети, электрическая часовая сеть по трассе маршрутов для контроля единого (физического) времени всеми водителями и линейными контролерами и штамп-часы на конечных станциях маршрутов (иногда и промежуточных станциях) для учета фактического времени прибытия или прохождения поездов с целью сравнения фактического движения с плановым. По результатам анализа поступающей информации диспетчер строит график исполненного движения, сравнивает его с графиком заданного движения и передает водителям указания по регулированию движения.

При большом объеме движения прямое диспетчерское управление неосуществимо в связи с тем, что диспетчер физически не в состоянии следить за движением всех поездов. В этом случае применяют иерархические системы ступенчатого диспетчерского управления. Сущность

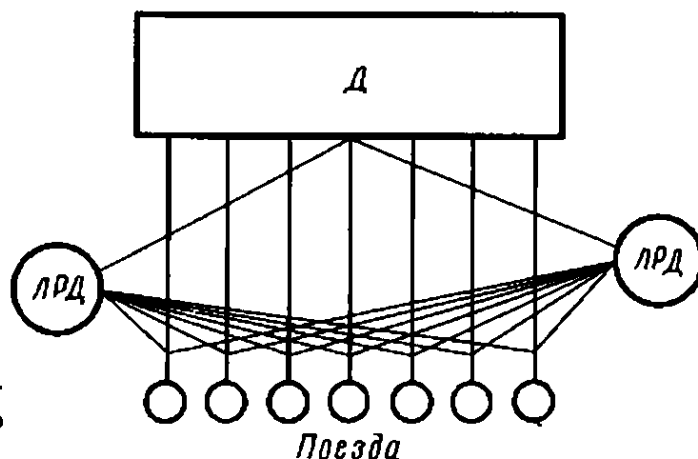


Рис. 19.5

Схема системы прямого диспетчерского управления движением поездов ГМПТ

их состоит в распределении объема работ контроля и регулирования движения между группой диспетчеров — диспетчерским аппаратом, в котором каждому диспетчеру отводится строго определенный участок работы. Схемы ступенчатого диспетчерского управления движением ГМПТ могут быть разными в зависимости от организационной подчиненности отдельных видов ГПТ, развития городских транспортных сетей и объемов пассажироперевозок.

Целесообразно единое диспетчерское управление всеми видами ГМПТ, схема которого для большого города показана на рис. 19.6. Общее руководство движением по этой схеме возглавляет старший центральный диспетчер *СЦД*, который является оперативным распорядителем движения на всей сети ГМПТ и подчинен непосредственно начальнику службы движения Управления пассажирского транспорта *СД УПТ*. Задача *СЦД* — обеспечение координации работы и взаимопомощи всех видов ГМПТ в транспортной системе города: трамвая, троллейбуса, автобуса и др.

СЦД подчинены группа анализа исполненного движения *ГАИД*, центральная восстановительная служба *ЦВС* и центральные диспетчеры отдельных видов транспорта: центральный диспетчер автобуса *ЦДА*, центральный диспетчер электротранспорта *ЦДЭ* и т. д.

ЦДЭ подчинены центральный диспетчер трамвая *ЦДТр* и центральный диспетчер троллейбуса *ЦДТб*.

ГАИД представляет собой группу технических работников, выполняющих непрерывный анализ соответствия исполненного движения плановому и фактическим запросам на пассажироперевозки по разным видам транспорта. По результатам этого анализа *ГАИД* подготавли-

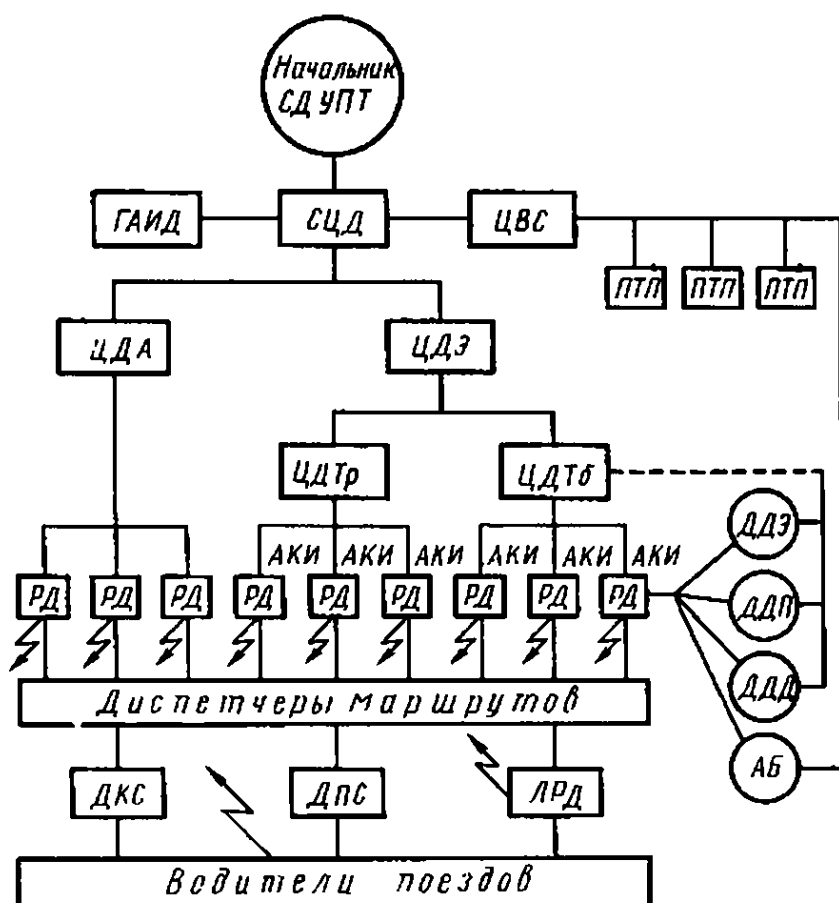


Рис. 19.6

Схема системы ступенчатого диспетчерского управления движением поездов ГМПТ большого города

вает для *СЦД* рекомендации по координации движения разных видов *МГПТ* города.

ЦВС представляет собой специально оснащенную группу, обеспечивающую быструю локализацию и ликвидацию аварий подвижного состава *ГМПТ* на линии. Она организует пункты технической помощи *ПТП*, расположенные вблизи потенциально аварийных участков транспортной сети, у крупных транспортных пересечений, в местах большой плотности движения и т. д. и аварийные бригады *АБ*, выезжающие на места аварий.

Центральные диспетчеры отдельных видов *ГМПТ* обеспечивают общее руководство движением своих видов транспорта и координацию работы разных видов транспорта по указаниям *СЦД*. В подчинении центральных диспетчеров каждого вида транспорта находятся районные диспетчеры *РД* — диспетчеры транспортных районов, на которые разделена сеть данного вида *ГМПТ*. *РД* регулируют движение в пределах своих транспортных районов и выполняют указания центральных диспетчеров по координации работы разных транспортных районов. Каждый транспортный район охватывает группу из нескольких маршрутов. Соответственно *РД* подчинены диспетчеры всех этих маршрутов. Одновременно *РД* подчинены дежурные диспетчеры обслуживающих эти маршруты депо *ДДД*, дежурные диспетчеры службы пути *ДДП*, энергослужбы *ДДЭ* и аварийные бригады *АБ*.

Маршрутный диспетчер — лицо, ответственное за правильную организацию движения транспорта на маршруте. Он анализирует и обеспечивает через подчиненный ему штат максимально высокие показатели эксплуатационной работы подвижного состава маршрута, а также выполняет указания *РД* по организации взаимопомощи маршрутов в освоении пассажироперевозок внутри транспортного района. Маршрутным диспетчерам подчинены диспетчеры конечных станций *ДКС*, диспетчеры промежуточных станций *ДПС* и линейные ревизоры движения *ЛРД*. Водители выполняют заданный график движения и указания по регулированию движения, исходящие от *ДКС*, *ДПС* и *ЛРД*.

Необходимым условием четкости работы многоступенчатых систем диспетчерского управления движением является очень четкое распределение обязанностей между всеми его ступенями, исключающее дублирование, разное толкование приказов, двойную подчиненность и т. д. Главный недостаток этих систем — сравнительно низкая оперативность, медленность прохождения распоряжений. Для обеспечения требуемого быстрого действия и гибкости они должны быть обеспечены техническими совершенными средствами оперативной связи на всех уровнях и простейшими автоматическими устройствами контроля движения. В системах ступенчатого диспетчерского управления движением крупных городов рекомендуют радиосвязь водителей автобусов и *ЛРД* всех видов *ГМПТ* с *РД*, телефонную связь диспетчеров всех уровней и автоматический контроль интервалов (автоматизированную систему *АКИ*) на уровне *РД* для городского электротранспорта — трамвая и троллейбуса. Существенным недостатком неавтоматических ступенчатых систем диспетчерского управления движением будет большое количество занятых в них работников и соответственно большие эксплуатационные расходы.

§ 19.6. Средства оперативной связи в неавтоматических системах диспетчерского контроля и регулировании движения ГМПТ

Основную сложность в системах КРД ГМПТ составляет организация гибкой оперативной связи работников диспетчерского аппарата: между собой и с водителями поездов для передачи сведений о движении и распоряжений по регулированию движения. Все вопросы регулирования движения должны решаться быстро и точно, так как иначе эффективность принимаемых мер снижается или сводится к нулю. Поэтому для нормального управления движением необходима хорошо налаженная связь всех звеньев, участвующих в организации движения.

В простейших случаях для диспетчерской связи используют городскую телефонную сеть, но она не удовлетворяет специфическим требованиям организации движения ГМПТ, так как требует много времени на соединение, а при занятой линии абонента не дает возможности соединиться с ним даже в срочных случаях. Поэтому и при использовании городской телефонной сети ГТС основной формой остается прямая связь диспетчеров с водителями на конечных станциях маршрутов.

Значительно лучше связь через АТС или ручные коммутаторы, принадлежащие самим транспортным предприятиям, так называемые УАТС — учрежденческие автоматические телефонные станции.

Связь абонентов *A* через городскую АТС (ГАТС), УАТС или коммутатор называют *прямой связью* (рис. 19.7, а). Она характеризуется тем, что каждый абонент имеет отдельное соединение с коммутатором (АТС) прямыми проводами. Длина телефонной сети при большом количестве абонентов получается чрезвычайно большой и поэтому дорогой.

Для небольших транспортных систем очень удобна и оперативна *селекторная (избирательная) телефонная связь* (рис. 19.7, б). При селекторной связи вдоль трассы линий МПТ прокладывают двухпроводную телефонную линию, к которой подключают параллельно всех абонен-

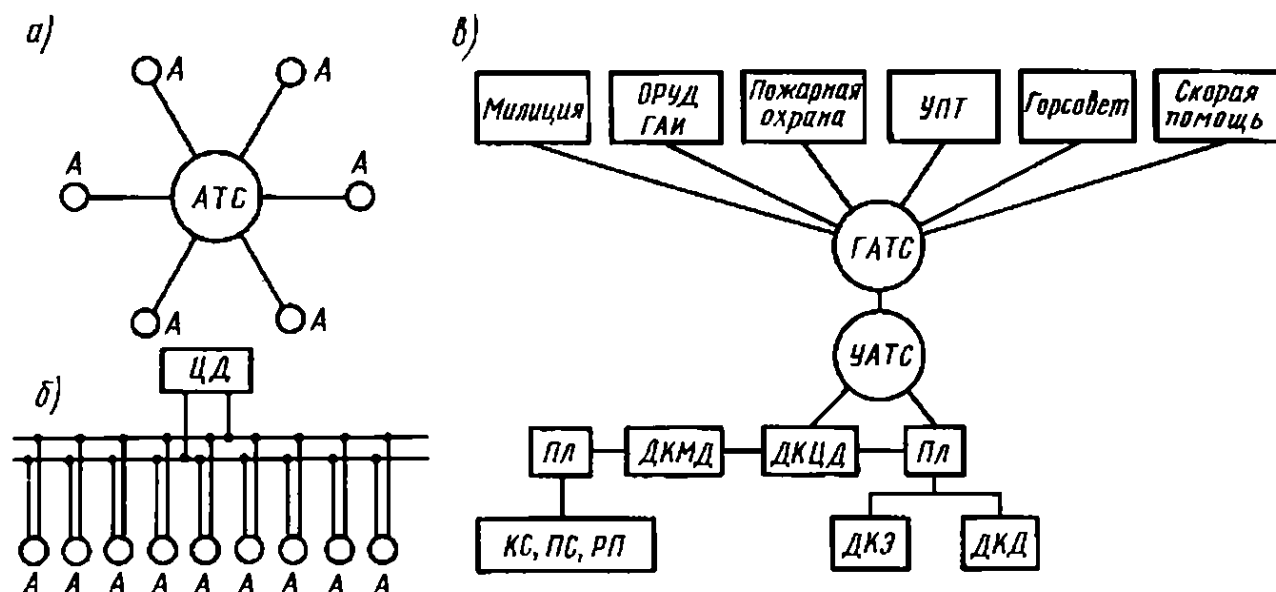


Рис. 19.7

тов: конечные станции и промежуточные контрольные пункты, диспетчерские депо и телефонные точки по трассе маршрутов, используемые линейными ревизорами движения и водителями для связи с диспетчером. Для вызова абонента центральному диспетчеру ЦД требуется лишь повернуть соответствующий вызываемой станции ключ на коммутаторе. Вызов от абонентов к диспетчеру подается голосом, так как телефонная линия у диспетчера постоянно подключена на репродуктор. Поворотом группового ключа диспетчер может осуществить одновременный вызов нескольких абонентов. По просьбе абонента диспетчер может соединить его с любым другим абонентом и контролировать разговор. Так как длина селекторной линии связи соответствует длине транспортной сети, она значительно дешевле прямой связи. Ее очень удобно применять для связи на маршрутах и в системах прямой диспетчерской связи, когда движением по всей сети управляет один диспетчер.

В сложных транспортных сетях применяют *комбинированные схемы телефонной связи* (рис. 19.7, в), основанные на использовании УАТС, диспетчерских коммутаторов ДК, установленных у центральных и маршрутных диспетчеров, и ГАТС. Линейные абоненты (конечные станции КС, промежуточные станции ПС и ревизорские посты РП) подключаются к ГАТС через диспетчерские коммутаторы маршрутных диспетчеров ДКМД, коммутатор центрального диспетчера ДКЦД и УАТС. Кроме того, к ДКЦД и ДКМД подключены диспетчерские коммутаторы диспетчеров службы электроснабжения ДКЭ, депо ДКД, службы пути, ЦВС и других абонентов. Линейные переключатели Пл обеспечивают абонентам возможность связи по выбору с соответствующим диспетчером или УАТС. Для связи с абонентами диспетчер может прервать любой разговор. Комбинированные схемы телефонной связи отличаются достаточной гибкостью и обеспечивают возможность связи диспетчера с абонентами при сравнительно небольшой затрате времени.

При всех своих положительных характеристиках телефонная связь в условиях ГМПТ отличается рядом недостатков и прежде всего тем, что не обеспечивает связь диспетчеров непосредственно с водителями поездов. Этому недостатка не имеет радиосвязь на УКВ, которая поэтому и получает в последнее время все большее распространение. Для радиосвязи на подвижном составе (сплошь или выборочно) устанавливают абонентские приемо-передающие радиостанции (АРС), а на диспетчерском пункте — центральную приемо-передающую станцию (ЦРС). При больших территориальных размерах городов, когда радиус действия АРС оказывается недостаточным, устанавливают еще ряд ретрансляционных станций (РРС).

В настоящее время применяют две системы радиосвязи на УКВ. Простейшая из них — *радиосвязь селекторного типа* (рис. 19.8, а), при

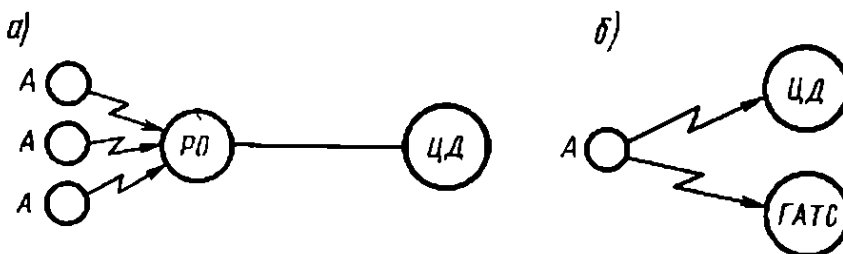


Рис. 19.8

Схемы систем радиосвязи на УКВ

которой абоненты A вызывают радиооператора PO , а радиооператор может включить их в телефонную связь с центральным диспетчером $ЦД$. Второй тип радиосвязи — избирательная радиосвязь (рис. 19.8, б), при которой набором двузначного числа абонент может связаться с диспетчером, а набором шестизначного — соединиться с любым другим абонентом или любым номером городской АТС. Радиосвязью оборудуют прежде всего автобусы, а в перспективе ею будет оборудован весь подвижной состав городского пассажирского транспорта.

§ 19.7. Автоматизированные системы диспетчерского контроля и регулирования движения ГМТТ

К автоматизированным относят системы диспетчерского контроля и регулирования с автоматизацией процессов получения, передачи и переработки информации о движении при сохранении за диспетчером функций анализа движения и принятия решений по его регулированию. Автоматизированную систему контроля и регулирования движения образуют сеть контрольных пунктов (КП) по трассе маршрутов, называемую *периферийными устройствами*, и *центральный диспетчерский пункт* (ЦДП), собирающий информацию о движении с КП.

В отличие от свойственной неавтоматическим системам контроля и регулирования движения редкой сети промежуточных станций с постоянным обслуживающим персоналом (диспетчерами промежуточных станций) или полным его отсутствием сеть КП автоматизированных систем контроля и регулирования движения должна быть достаточно плотной и не иметь постоянного обслуживающего персонала.

Аппаратура для формирования и разделения сигналов в системах контроля и регулирования движения. Для формирования и передачи информации о движении с подвижного состава на контрольные пункты сети и через них на центральный диспетчерский пункт (ЦДП) используют различные датчики и виды связи. Основными типами приемо-передающих датчиков (транспортных детекторов) являются индуктивный, фотоэлектрический, ультразвуковой, радиопередатчики и генераторы ВЧ сигналов. Для связи датчиков с приемниками сигналов используют проводную и радиосвязь.

По типу используемых элементов автоматики различают датчики и передатчики релейного типа (контактные) и бесконтактные, выполненные на основе полупроводниковых бесконтактных элементов.

На основе индуктивных датчиков (петель) могут работать автоматические регистраторы транспорта (АРТ), формирующие сигналы о прохождении поездов через КП, счетчики транспорта (сумматоры), индуктивные генераторы и приемники ВЧ сигналов.

Индуктивный релейный транспортный счетчик (рис. 19.9, а) представляет собой индуктивную катушку L , заложениую в дорожное покрытие, и электрическую схему, включающую конденсатор C , выпрямитель B , источник питания и реле P . Работа датчика основана на изменении индуктивности петли L при прохождении над ней ферромагнитной массы — поезда. Индуктивность петли L и конденсатор C настраивают в резонанс на частоту источника питания. При этом сопротивление кон-

тура LC максимально и реле P не срабатывает. При прохождении над петлей L магнитопроводящей массы поезда индуктивность контура увеличивается, сопротивление его уменьшается и реле P срабатывает, формируя сигнал о прохождении поезда, который фиксируется сумматором Σ .

С использованием индуктивной петли путевого датчика работают различные индуктивные приемо-передающие устройства контроля движения. В схеме индуктивного путевого передатчика (рис. 19.9, б) путевого датчик (индуктивная петля L) питается переменным током от генератора высокой частоты $ГВЧ$ и генерирует поле, которое воспринимается приемной индуктивной петлей поезда. Полученный сигнал поступает или на исполнительный механизм контроля движения, установленный на поезде, или передается передатчиком поезда по радиоканалу связи на контрольный пункт.

Принципиально такой же вид имеет и схема индуктивного путевого приемника (рис. 19.9, в). В этом случае питается от $ГВЧ$ и генерирует поле индуктивный передатчик поезда. Путь индуктивный контур L

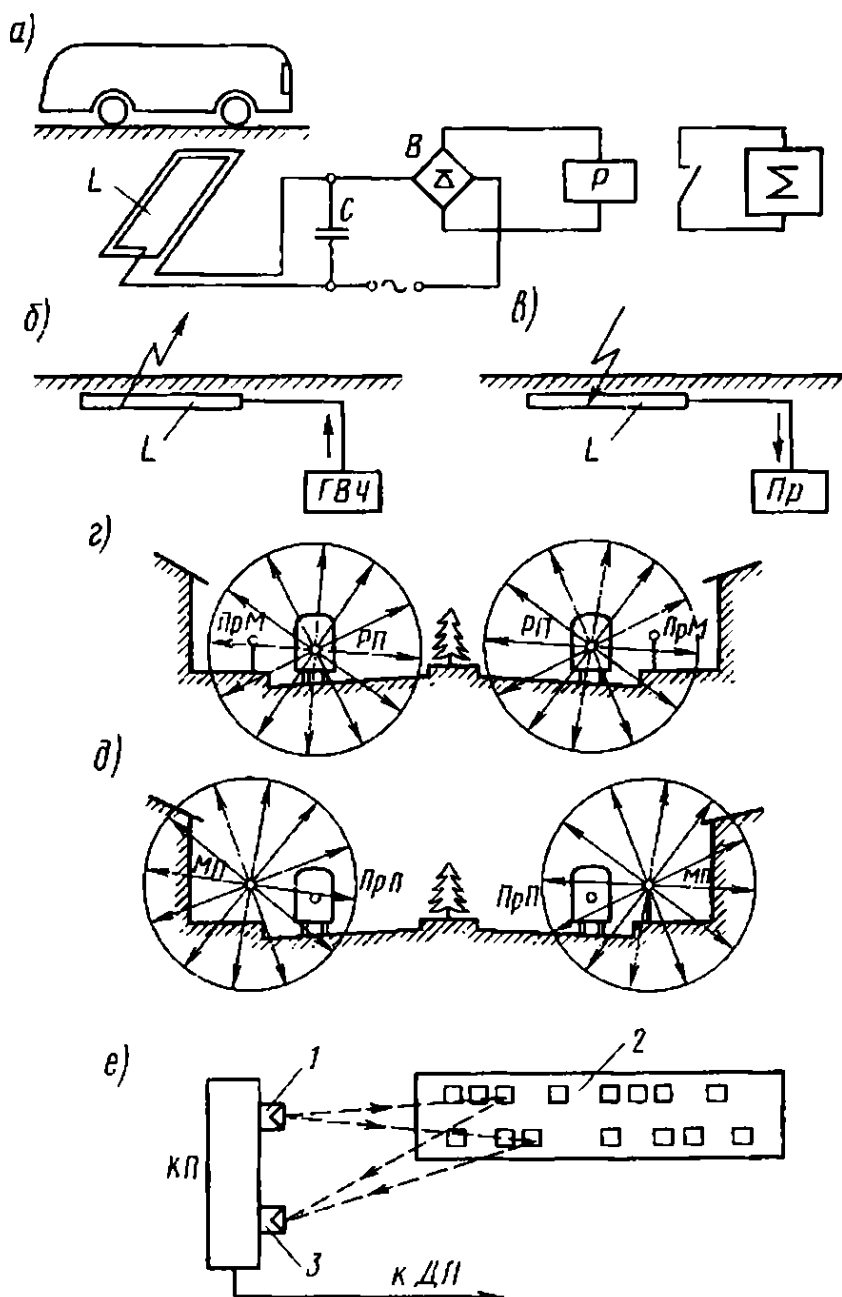


Рис. 19.9

улавливает этот сигнал и передает его по проводному каналу связи на контрольный пункт.

Аналогично используют радиопередатчики и радиоприемники. При установке радиопередатчиков $РП$ на поездах, а приемников $ПрМ$ по трассе маршрутов (рис. 19.9, $г$) $РП$ должен содержать информацию о номере поезда, на котором он установлен, и номере маршрута, на котором поезд работает, а радиоприемник $ПрМ$ передает эту информацию на контрольный или диспетчерский пункт, добавляя к ней информацию о своем местонахождении. При установке радиопередатчиков по трассе маршрутов (в этом случае их называют маркерными передатчиками $МП$) радиоприемники поездов $ПрП$ представляют собой приемо-передающие радиостанции (рис. 19.9, $д$). От маркерных передатчиков $МП$ они получают информацию о их местонахождении и, добавляя к ней информацию о себе (номере поезда и номере маршрута, на котором он работает), передают ее на диспетчерский или контрольный пункт.

При фотоэлектрическом методе съема информации о движении (рис. 19.9, $е$) на крыше поездов устанавливают катафот-кодированный отражатель света, имеющий вид платы 2 с двумя рядами кодированных отражателей, вносящих в модулированный световой сигнал, поступающий с передатчика 1 контрольного пункта $КП$, информацию о номере поезда и номере маршрута, на котором он работает. При прохождении поездом контрольного пункта приемник 3 воспринимает этот отраженный сигнал и передает его по радиоканалу или проводному каналу связи на диспетчерский пункт $ДП$.

Кодирование сведений о номере поезда, номере маршрута, на котором работает поезд, и номере контрольного пункта, мимо которого он проходит, производят чаще всего частотным методом (передачей импульсов разной частоты и длительности). Разделение полученных сигналов на диспетчерском пункте и распределение по анализаторам движения $A_1, A_2, A_3, \dots$ отдельных маршрутов осуществляют в этом случае частотными фильтрами $F_1, F_2, F_3, \dots$ (рис. 19.10), каждый из которых пропускает сигналы, поступающие с поездов только одного маршрута, и задерживает все остальные.

Устройства индивидуального контроля движения (ИКД). Применяют два класса устройств автоматического контроля движения поездов: 1) устройства активного контроля; 2) устройства пассивного контроля.

Устройства активного контроля — это устройства контроля движения, обеспечивающие непрерывную или дискретную передачу информации о движении на диспетчерский пункт, где она тут же анализируется для немедленной выдачи на поезда рекомендаций по регулированию движения.

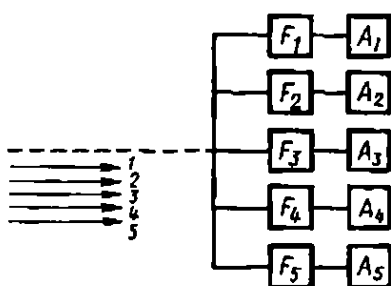


Рис. 19.10

Схема частотного разделения информации по анализаторам движения на диспетчерском пункте

поезд они приходят с интервалом около 2 мин. Этот запрос, поступая в передатчик поезда *ПП*, заставляет его срабатывать и выдавать информацию о положении поезда. Последняя поступает по радиоканалу в приемник диспетчерского пункта *ПрДП*, а затем в блок анализа *БА* и на исполнительный механизм контроля движения *ИМКД*. В блоке анализа *БА* фактическое движение сравнивается в масштабе физического времени с заданным, сведения о котором хранятся в блоке заданных программ *БЗП*. На основе этого сравнения выдаются команды на регулирование движения, которые поступают в *ИМКД*. В простейшем случае блок анализа *БА* может быть объединен с *ИМКД*, а последний представляет собой самописец, на котором прокручивается лента с графиком заданного движения. Пунктирными отметками самописец записывает на нем график исполненного движения, анализируемый затем диспетчером. Указания по регулированию движения диспетчер передает на поезда по радиоканалу.

На рис. 19.12 показана схема системы ИКД с индуктивными транспортными детекторами и проводной связью контрольных пунктов *КП* с диспетчерским пунктом *ДП*. Как и радиоканальная, она может быть использована для контроля движения поездов любого вида ГМПТ, но рекомендуется в основном для безрельсовых видов транспорта — автобуса, троллейбуса и пр. Активными элементами системы являются передатчики *ПП* поездов *П*, представляющие собой ВЧ-генераторы, и индуктивные петли *L*, закладываемые у контрольных пунктов *КП* под дорожное покрытие или устанавливаемые на столбах. Передатчики *ПП* поездов генерируют совокупность сигналов, в которых закодирован номер поезда и номер маршрута, на котором он работает. При прохождении поезда над петлей *L* сигнал *ПП* улавливается петлей и передается на *КП*. Вся эта информация поступает в приемник *ПрКП*, который включает часы *t*, фиксирующие момент поступления сигнала на *КП*. Вся информация накапливается в передатчике *ПКП*. Проводными каналами связи *ПКП* связан с *ПрДП* и *ПВДП*. По вызову *ПВДП* вся информация о поездах, проходящих через *КП* за промежуток времени от момента предыдущего вызова, передается на *ПрДП*. Дальнейший процесс ее переработки осуществляется так же, как и в радиоканальной системе ИКД.

Системы ИКД с фотоэлектрическим или локаторным считыванием информации с поездов и проводной передачей ее с контрольных пунктов *КП* на диспетчерский пункт *ДП* (рис. 19.13, рис. 19.9, е) в основном аналогичны описанным. Активными элементами системы являются ВЧ-генераторы *ВЧП* и приемники *ВЧПр* контрольных пунктов *КП* и кодированные отражатели сигналов *КОС* на поездах *П*. Отраженный сигнал *ВЧП*, поступая от *КОС* в *ВЧПр*, включает часы *t*. Информация о проходящих поездах (и времени их прохождения через *КП*) накапливается в передатчиках *ПКП* контрольных пунктов и при поступлении вызова с *ПВДП* передается на *ПрДП*.

АСУД должны создаваться в виде подсистем общего регулирования уличного движения в городе на основе системного подхода, т. е. не отдельно для каждого вида транспорта, а с учетом всего городского дорожного движения. В качестве одного из удачных примеров комплексно-

го решения проблемы автоматизации управления дорожным движением можно привести систему управления движением автотранспорта с приоритетом пропуска автобусов Вашингтона (США) [29]. В систему входит (рис. 19.14, а) оборудование центра управления ЦДП, оборудование автобусов П и дорожное оборудование ДО на перекрестках и подходах к перекрестку. На участках улиц между перекрестками установлены индуктивные петли 13 регистраторов проходящих автомобилей, электронные схемы 14 которых встроены в корпус контроллера 17 светофорной сигнализации перекрестка. Сигналы регистраторов 14 передаются по проводному каналу связи ЛС в ЦДП, обрабатываются его ЭВМ и позволяют получать характеристики автомобильного потока: скорость автомобилей на подходах к перекрестку; плотность и интенсивность движения; длину очередей автомобилей перед светофором в разных направлениях движения.

Система обеспечения приоритета проезда автобусов включает оборудование автобусов П (переключатель 7 сигналов остановки или движения, передатчик 8 и антенну 9 под кузовом машины) и дорожное оборудование — контурные антенны 10, встроенные в дорожное покрытие, и приемники 11, вмонтированные в корпус светофорного контроллера 17.

Переключатель сигналов остановки или движения установлен на

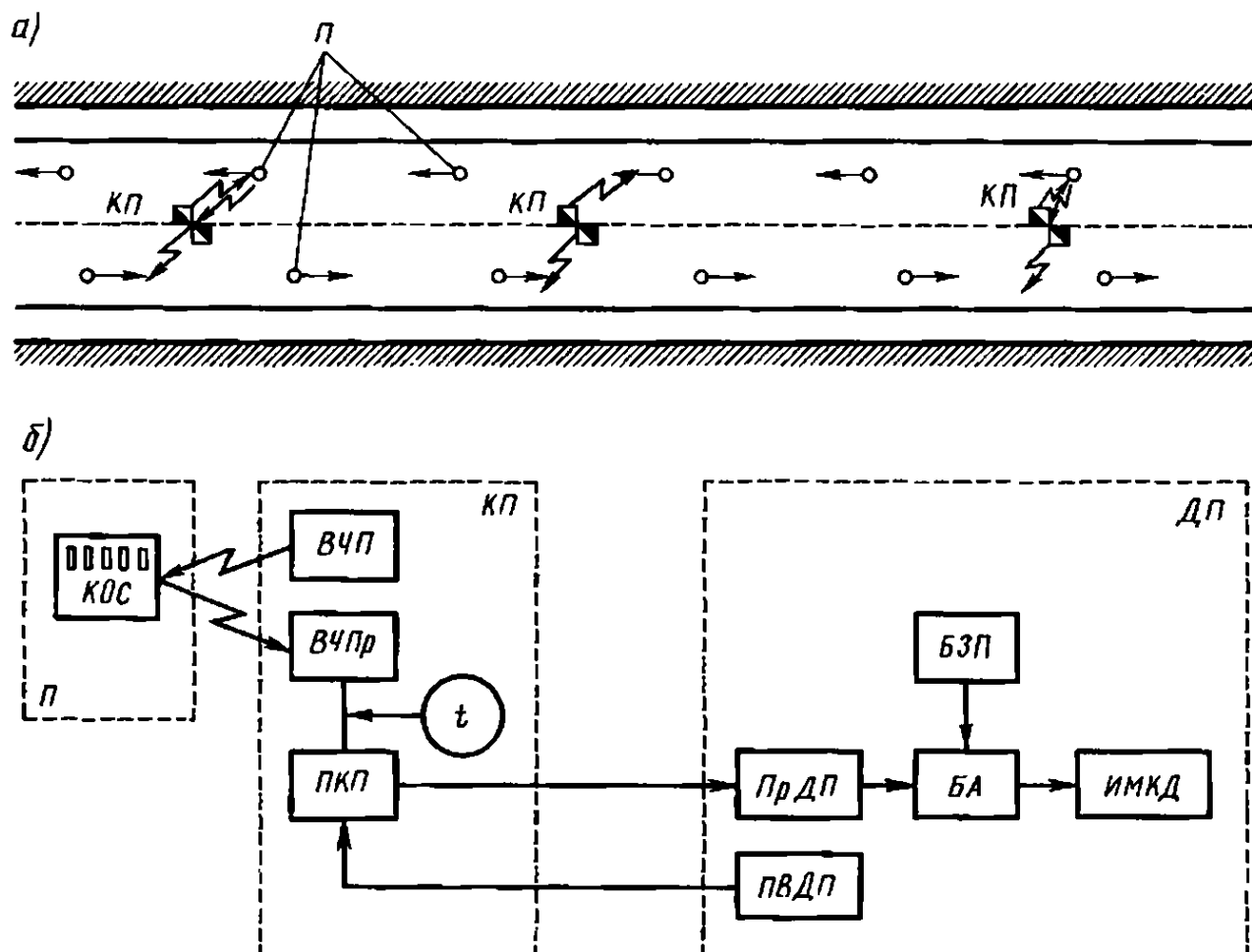


Рис. 19.13

Система ИКД с фотоэлектрическим или локаторным считыванием информации с проходящих поездов и проводной передачей ее с КП на ДП:

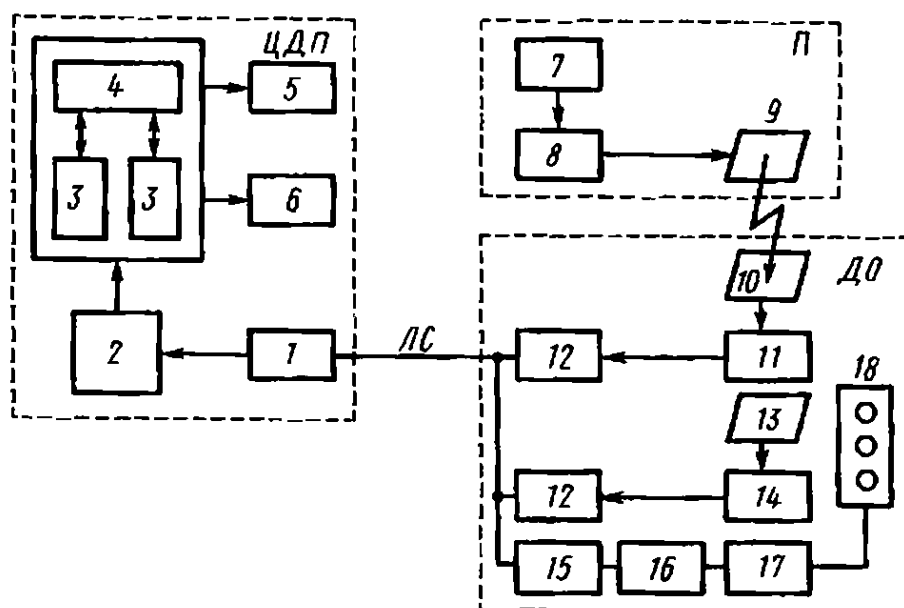
а — размещение контрольных пунктов КП на трассе транспортной сети; б — схема системы

рулевой колонке автобуса. Поставленный водителем в положение остановки, он обеспечивает формирование передатчиком поезда сигнала, означающего, что автобус задерживается перед перекрестком на остановочном пункте для посадки и высадки пассажиров. Поставленный в положение движения, переключатель обеспечивает формирование сигнала о готовности автобуса к движению через перекресток. Сигналы остановки и готовности к движению отличаются частотой: для сигнала остановки используется частота 168 кГц, для сигнала движения — частота 182 кГц. Они улавливаются дорожной антенной 10 и через приемник 11 и передатчик 12 поступают по линии связи ЛС в ЭВМ 3 ЦДП через приемник 1 и входное устройство 2. Во внешних устройствах 6 ЭВМ ЦДП заложены программы управления светофорными контроллерами перекрестков. В результате сравнения информации о транспортных потоках автомобилей и автобусов, ожидающих движения через перекресток, ЭВМ выбирает продолжительность горения зеленой фазы светофоров в контролируемых направлениях движения и выдает результаты на светофоры 18 и мнемосхему 5 района управления.

С ЭВМ ЦДП управляющие сигналы через линию связи ЛС поступают в приемник 15 и затем через адаптер 16 в контроллер 17. С пульта 4 диспетчер может при необходимости взять управление работой светофорных объектов на себя. Передача сигналов между ЦДП, П и ДО, включая светофорные контроллеры, осуществляется методом частотного разделения по телефонным линиям связи.

Схема логической системы обеспечения приоритета проезда автобусам (рис. 19.4, б) включает ввод исходных данных о транспортной ситуации на контролируемом перекрестке (блок В), блоки анализа БА и хранения БХ исходных данных, логический блок БЗА, определяющий наличие запросов автобусов на проезд перекрестка, блок БАО анализа очереди автомобилей на конкурирующем направлении и расчета эффек-

а)



б)

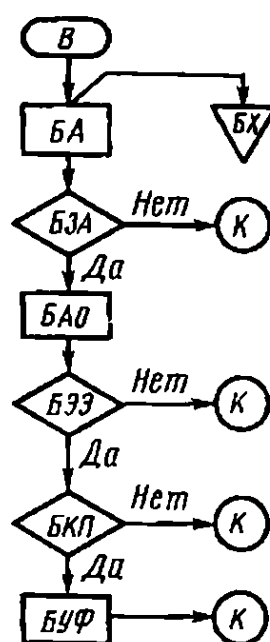


Рис. 19.14

Схема системы управления движением на перекрестке с приоритетом проезда автобусов Вашингтона (а) и ее алгоритм (б)

та от представления автобусам права преимущественного проезда перекрестка. Если предоставление автобусам преимущества проезда дает в сложившейся ситуации требуемый эффект, то через блок расчета экономического эффекта *БЭЭ* соответствующий сигнал проходит в блок *БКП* контроля пропускной способности. Если очередь автотранспорта на конкурирующем направлении не превышает допускаемую пропускной способностью при сокращенной зеленой фазе, то в блоке увеличения фазы *БУФ* формируется команда на увеличение зеленой фазы в направлении движения автобусов, которая поступает на выход — в светофорный контроллер *К*.

Схема обеспечения приоритета проезду автобусов блокируется в случаях:

- 1) при отсутствии запросов автобусов на проезд перекрестка;
- 2) когда предоставление приоритета проезда автобусам не дает требуемого эффекта;

3) когда сокращение зеленой фазы на конкурирующем направлении, связанное с увеличением ее длительности на направлении движения автобусов, приводит к снижению пропускной способности на нем относительно требуемой в сложившейся ситуации. Во всех этих случаях схема выдает в светофорный контроллер *К* команду на регулирование движения по обычному режиму авторегулирования в соответствии с величиной автотранспортных потоков на конкурирующих направлениях. В первом случае она поступает в контроллер *К* из блока *БЗА*, во втором — из блока *БЭЭ* и в третьем — из блока *БКП*.

Устройства автоматического контроля интервалов между поездами (АКИ). Системы ИКД сравнительно сложны и дороги. Более просты по сравнению с ними системы автоматического контроля интервалов проходящих поездов (АКИ), которые позволяют непосредственно контролировать только один параметр — интервал между проходящими поездами. На рис. 19.15, а показана схема системы АКИ четырехстороннего перекрестка. Детекторами, формирующими сигналы о прохождении поездов, являются дополнительные воздушные контакты $K_1 — K_4$ устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), установленных на контактной сети (система АКИ разработана для контроля движения электротранспорта — трамвая и троллейбуса).

На контрольном пункте *КП* перекрестка имеется пять генераторов высокой частоты $f_1 — f_5$, работающих в диапазоне 4,5—12 кГц. Первые четыре из них используются для формирования сигналов о прохождении поездов в контролируемых направлениях, а пятый — для передачи на диспетчерский пункт *ДП* информации о сигналах светофора. Формирователи импульсов $\Phi И_1 — \Phi И_4$ осуществляют кодирование частотного сигнала, посылаемого при замыкании контактов $K_1 — K_4$ генераторами $f_1 — f_4$ через усилитель *У* и линию связи *ЛС* на диспетчерский пункт *ДП*. Линейный блок *ЛБ* контрольного пункта и конденсаторы *С* предназначены для согласования характеристик выхода усилителя и линии связи. Аналогичный блок *ЛБ* установлен на *ДП*.

Принятый на *ДП* сигнал расшифровывается системой фильтров $F_1 — F_5$, усиливается и подается на обмотки сигнальных реле $РК_1 —$

$РК$ и $Р_{сс}$. При срабатывании реле сбрасывают на нуль стрелки соответствующих интервальных часов $ИЧ_1 — ИЧ_4$, т. е. интервал, накопленный с момента прохождения контактов $K_1 — K_4$ контролируемых направлений предыдущими поездами. Основу интервальных часов $ИЧ$ составляет механизм электрических вторичных часов 1 (рис. 19.15, б), вал 2 которых каждую минуту поворачивается на $1/60$ часть полного оборота. Резиновой разъемной контактной муфтой 3 вал 2 соединяется с валом 5 электроконтактной интервальной часовой стрелки 7. Пружина 6 поджимает полумуфту вала 5 к полумуфте вала 2 и обеспечивает их сцепление. Благодаря этому вал 2 ведет за собой вал 5 и вместе с ним интервальную стрелку 7 по циферблату 8 интервальных часов. Время интервала задается второй электроконтактной стрелкой 9 часов, которая может быть установлена вручную на любой интервал в пределах до 60 мин. Если фактический интервал между поездами контролируемого направления (между двумя замыканиями его воздушных контактов K) меньше установленного на часах, то стрелка 7 не доходит до стрелки 9, задающей интервал, так как замыкание воздушного контакта K приводит к включению соленоида сброса 11 контактами реле $РК$. При этом рычагом 10 соленоид отводит (преодолевая сопротивление пружины 6) ось 5 вправо. Муфта 3 освобождает вал 5, он поворачивается возвратной пружиной 4 в исходное положение и приводит стрелку 7 к нулю.

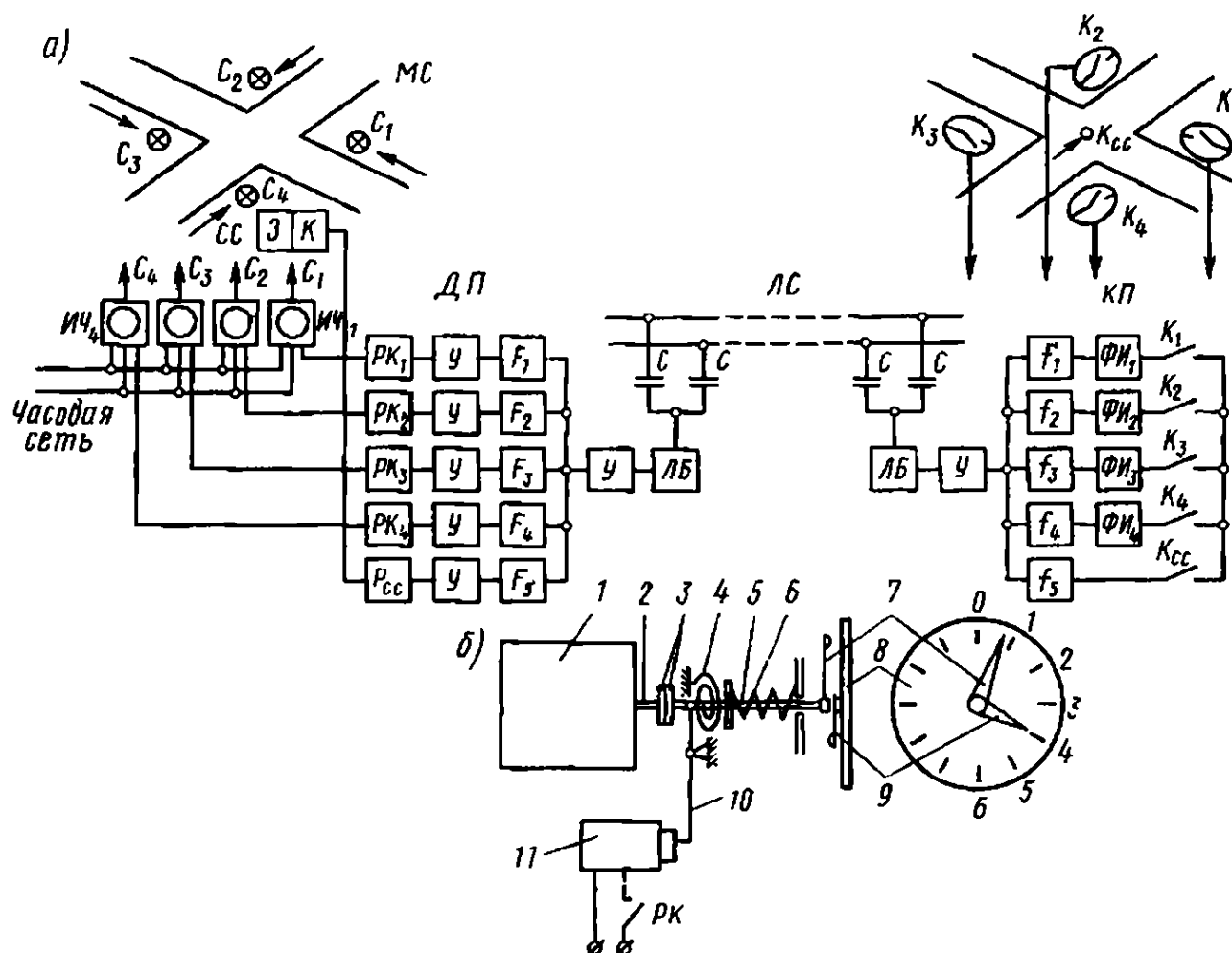


Рис. 19.15

После размыкания контакта K проходящим поездом контролируемого направления счет интервала начинается заново. Если в течение времени заданного интервала импульс на соленоид сброса не поступает, то стрелка 7 доходит до стрелки 9. При этом срабатывают и становятся на самоподпитку специальные реле, контакты которых включают сигнальные лампы $C_1 — C_4$ соответствующих направлений на мнемосхеме $МС$ диспетчерского пункта и звуковую сигнализацию, показывающие диспетчеру факт и место нарушения интервала. Зная размещение $КП$ на транспортной сети города и расписание движения, диспетчер имеет возможность определить, на каком маршруте и каким поездом нарушен график движения. Одновременно с включением сигнальных ламп и звукового сигнала срабатывает счетчик сбоев движения, регистрирующий количество случаев нарушения интервала.

Контакт $K_{сс}$, встроенный в светофорный контроллер перекрестка, включается при красном сигнале светофора в одном из контролируемых направлений. При этом генератор f_3 формирует импульс, который приводит к срабатыванию реле $P_{сс}$ на $ДП$. В результате этого на мнемосхеме $ДП$ гаснет зеленая 3 и загорается красная K лампа светофорного сигнализатора $СС$.

Устройства пассивного контроля с накоплением данных о движении в аппаратуре поездов. Принципиальная схема устройств пассивного контроля с накоплением информации о движении в аппаратуре поездов (рис. 19.16) включает аппаратуру контрольных пунктов $КП$ и аппаратуру поездов $П$.

На контрольных пунктах сети укладывают активные индуктивные транспортные детекторы — индуктивные петли L , получающие питание от ВЧ-генераторов $ГВЧ$ или переменным током промышленной частоты через понижающий трансформатор.

Индуктивная петля L_n приемника поезда $ПрП$ фиксирует магнитное поле индуктивного контура L и передает соответствующий сигнал в аппаратуру типа штамп-часов, представляющую собой исполнительный механизм контроля движения — ИМКД.

В ИМКД прокручивается перфолента, на временной дорожке которой в момент прохождения индуктивной петли $КП$ пробивается отверстие. В конце движения по прибытии поезда на конечную станцию маршрута лента снимается и анализируется диспетчером по накладному шаблону с записанным на нем графиком заданного движения. Все отклонения от графика фиксируются как отклонения проколов от контрольных точек шаблона. Недостаток этого метода контроля движения в том, что он не позволяет фиксировать отклонения от графика в момент их появления и активно регулировать процесс движения.

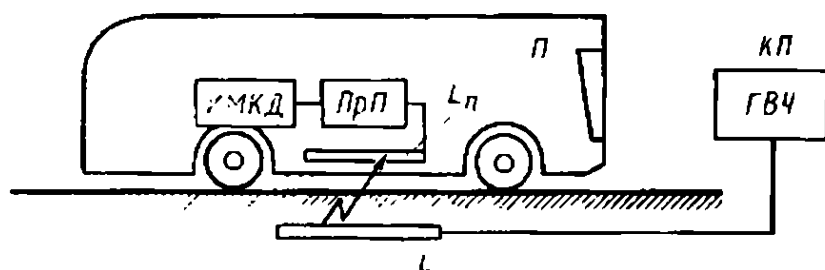


Рис. 19.16

Принципиальная схема системы контроля движения с накоплением информации о движении в аппаратуре поездов

Аналогичная, но более совершенная система пассивного контроля движения была предложена и испытана АКХ МЖКХ РСФСР в Москве. В качестве ИМКД АКХ использовала механизм контрольных часов типа табельных с закладываемой в них карточкой. При прохождении поездов над индуктивной петлей активного транспортного детектора, питающейся от ГВЧ, часы автоматически печатают время проследования КП на карточке. На конечных пунктах маршрута карточка вынимается из часов и предъявляется диспетчеру для проверки и оценки качества выполненного рейса. Эта система в большей степени дисциплинирует водителя, повышает регулярность движения и достаточно оперативна, так как позволяет диспетчеру анализировать каждый рейс. При наличии двусторонней радиотелефонной связи водителей с диспетчером эта система не уступает по оперативности системам ИКД.

Внедрение автоматизированных систем диспетчерского управления ГМПТ. Внедрение АСДУ — ГПТ позволяет сократить время ожидания транспорта пассажирами на 20—30%, увеличить объем пассажироперевозок на 8—10% (за счет дополнительного привлечения пассажиров, едущих на короткие расстояния), повысить качество транспортного обслуживания населения и снизить уровень транспортной усталости.

Внедрение АСДУ в городах II группы с численностью населения более 500 тыс. жителей дает экономический эффект порядка 600 тыс. руб. при сроке окупаемости около двух лет. Поэтому в нашей стране начиная с 1970 г. развернуты работы по созданию систем АСДУ автобусным транспортом (АСДУ-А), городским электрическим транспортом (АСДУ-Э) и таксомоторным транспортом (АСДУ-Т). Разработанные системы АСДУ-А и АСДУ-Э реализуют дискретный принцип оперативного управления движением с устройствами ИКД, основанный на определении положения поездов на линии, информационном обмене диспетчерского пункта с поездами и передаче управляющих воздействий на поезда в фиксированных точках транспортной сети — контрольных пунктах. Благодаря этому единому принципу разработки систем АСДУ обеспечена возможность использования в АСДУ-А и АСДУ-Э общего комплекса технических средств, в который входят устройства подвижной единицы (поезда) (УПЭ), контрольного пункта (УКП), связи с периферийным оборудованием (УСПО), диспетчерской связи (УДС) и вычислительный комплекс (ВК).

Отдельные работы по созданию АСДУ проводятся также в трамвайно-троллейбусных и автобусных предприятиях крупных городов. В частности, в Киеве внедрена система АСДУ трамвая, использующая фотоэлектрический принцип считывания информации с катафотов поездов на контрольных пунктах (см. рис. 19.13). На диспетчерском пункте системы автоматически регистрируется номер контрольного пункта, мимо которого проходит поезд, номер поезда, время его прохождения через контрольный пункт и, кроме того, показатель нагрузки поезда в баллах. Датчики нагрузки поездов установлены под рельсами непосредственно перед контрольными пунктами. С диспетчерского пункта по телефонной паре на вход КП периодически поступают сигналы опроса. Приняв такой сигнал, КП переключается на передачу и по той же линии связи передает на ДП код-номер прошедшего поезда и код его нагрузки.

Интервал опроса не превышает минимального технического интервала между поездами.

На ДП код-номер поезда и его нагрузки вместе с номером КП регистрируются на машинном носителе (перфоленте) и печатаются на электрической цифропечатающей машинке. Кроме того, на диспетчерском пункте имеется мнемосхема контролируемых маршрутов, на которой в местах размещения КП установлены цифровые индикаторы, показывающие время (в минутах) отсутствия движения поездов мимо КП. Код вагона, проследовавшего мимо КП, сбрасывает соответствующий счетчик-индикатор в положение «0».

Таким образом, система обеспечивает автоматический контроль интервалов между поездами. Диспетчер может судить о движении поездов по показаниям счетчиков мнемосхемы, результатам цифропечати и показаниям цифровых индикаторов пульты. Накопленная в течение суток на перфоленте информация о движении поездов передается на ЭВМ для обработки и выдачи технико-экономических показателей работы транспорта (регулярность движения, вагоно-километры, вагоночасы и т. д.). Внедрение этой системы обеспечило повышение регулярности движения поездов за счет более частого и объективного контроля работы водителей, автоматизацию сбора информации о пассажиропотоках и улучшение качества обслуживания пассажиров.

В Москве на одном из трамвайных маршрутов испытывалась разработанная АКХ МЖКХ РСФСР автоматизированная система контроля движения по схеме рис. 19.17. На поездах устанавливался постоянно работающий генератор высокой частоты ГВЧ, модулированный кодом звуковых частот, несущим информацию о номере поезда и маршрута, на котором он работает. У контрольных пунктов КП транспортной сети участок контактной сети КС, связанный кабелем с КП, изолировался фильтрами Φ — пробками высоких частот. При прохождении такого участка ГВЧ поезда посылает на КП информацию о своем местонахождении, которая передается затем по линии связи ЛС (телефонному проводу) токами низкой частоты на диспетчерский пункт ДП в дешифратор ДШ и после расшифровки на исполнительный механизм контроля движения ИМКД, который в свою очередь отбивает на движущейся ленте номер поезда и время его прохождения через соответствующий КП.

В Челябинске была разработана и успешно применялась на автобусном маршруте система ИКД, выполненная по схеме рис. 19.9, з. На поездах устанавливались радиопередатчики с радиусом действия порядка 50 м. Информация, переданная поездом, поступала на контрольные пункты и с них — на табло диспетчера.

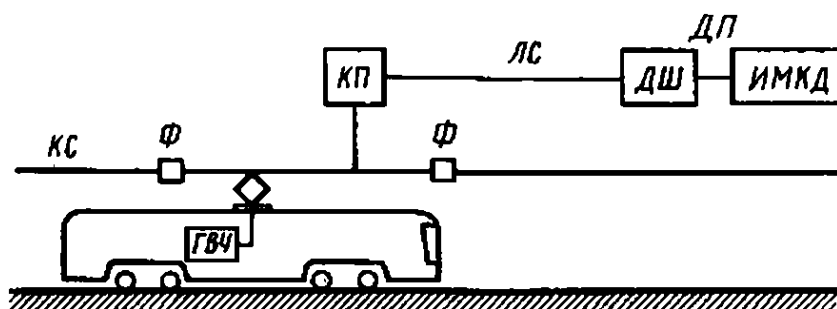


Рис. 19.17

Система ИКД, испытанная в Москве на трамвайных маршрутах

§ 19.8. Автоматический контроль и регулирование движения ГМПТ

Автоматическими называют системы диспетчерского контроля и регулирования движения ГМПТ с полной автоматизацией процессов получения, передачи и обработки информации о движении (включая принятие решений по его регулированию) с сохранением за диспетчером функций контроля за работой систем автоматики и решения незапрограммированных задач регулирования движения.

Задачи и принципы полной автоматизации контроля и регулирования движения МПТ. В настоящее время применяют две системы организации городских пассажирских перевозок, каждой из которых соответствует своя группа задач автоматизации контроля и управления движением (см. § 19.1):

1. Маршрутную с жестким расписанием по часам и периодам суток. Эта система является общепринятой для МПТ. Она не рассчитана на анализ фактических запросов на пассажироперевозки, так как базируется на плане движения, исходящем из прогнозных расчетов или натурных обследований прошлых пассажироперевозок в аналогичные периоды времени. Задача контроля и регулирования движения при этой системе — обеспечение движения по расписанию вопреки мешающим влияниям, приведение в каждый момент времени фактического движения к плановому, заданному расписанием.

2. Систему организации движения, рассчитанную на удовлетворение фактической потребности (запросов) на пассажироперевозки, работу транспорта по запросам, а не по расписанию, с произвольным выбором маршрутов по желанию пассажира и преимущественно безостановочным движением между пунктами отправления и назначения (системы типа заказа поездки и кибер-такси — PRT). Задача контроля и регулирования движения в этом случае — непрерывный или дискретный анализ запросов на пассажироперевозки и решение задачи оптимизации движения по использованию подвижного состава и минимуму затрат транспортного времени пассажиров с учетом фактической загрузки транспортной сети. Круг задач, решаемых автоматикой при организации пассажироперевозок по запросам и жесткому расписанию требует разной оперативности.

Объектами автоматизации при всех системах автоматического контроля и регулирования движения ГМПТ являются поезда (автоматическое регулирование режима движения и контроль движения поездов), дорожные устройства (стрелочные переводы, дорожные сигналы) и станции пассажирообмена (автоматизация процессов обработки запросов на пассажироперевозки, принятия поездов на станционные пути и отправления их после пассажирообмена). Все логические операции контроля и регулирования движения решаются ЭВМ по определенной заложенной в них программе в соответствии с заданным графиком (расписанием) движения (в системах маршрутного ГПТ) или запросами на пассажироперевозки (в системах немаршрутного ГПТ).

В зависимости от объема перерабатываемых данных, определяемого разветвленностью транспортной сети, плотностью движения и принятым принципом организации движения (маршрутный или немаршрутный), применяют три системы автоматизации (рис. 19.18):

1) *централизованную систему автоматизации* (рис. 19.18, а), при которой управление всеми процессами контроля и регулирования движения возлагается на ЭВМ контроля и управления, связанную со всеми поездами *П*, станциями пассажирообмена *СТ*, путевой автоматикой *ПА*, депо *Д* и т. д. Централизованные системы автоматического контроля и регулирования движения используют в сравнительно простых транспортных системах при относительно небольших объемах перерабатываемой информации. После превышения объемом информации некоторого предела централизованные системы становятся чувствительными к помехам и вследствие этого ненадежными. Кроме того, они трудно приспособляются для перспективного развития транспортной системы, так как увеличение количества подвижного состава непосредственно отражается на требуемом объеме памяти ЭВМ;

2) *децентрализованную систему автоматизации* (рис. 19.18, б), при которой движение в каждом транспортном районе *Тр* управляется своей ЭВМ (ЭВМ *Тр*) по принципу централизованного управления. Районные ЭВМ связаны лишь выходными параметрами, обеспечивающими согласованность движения по всей сети. В остальном они самостоятельны и равноценны. В связи с меньшим количеством перерабатываемой каждой из районных ЭВМ информации децентрализованная система менее чувствительна к помехам и допускает перспективное развитие присоединением новых районных ЭВМ. Основной недостаток децентрализованной системы состоит в недостаточной общей увязке сети;

3) *иерархическую (смешанную) систему автоматизации*, которая характеризуется разделением общего потока информации от автомати-

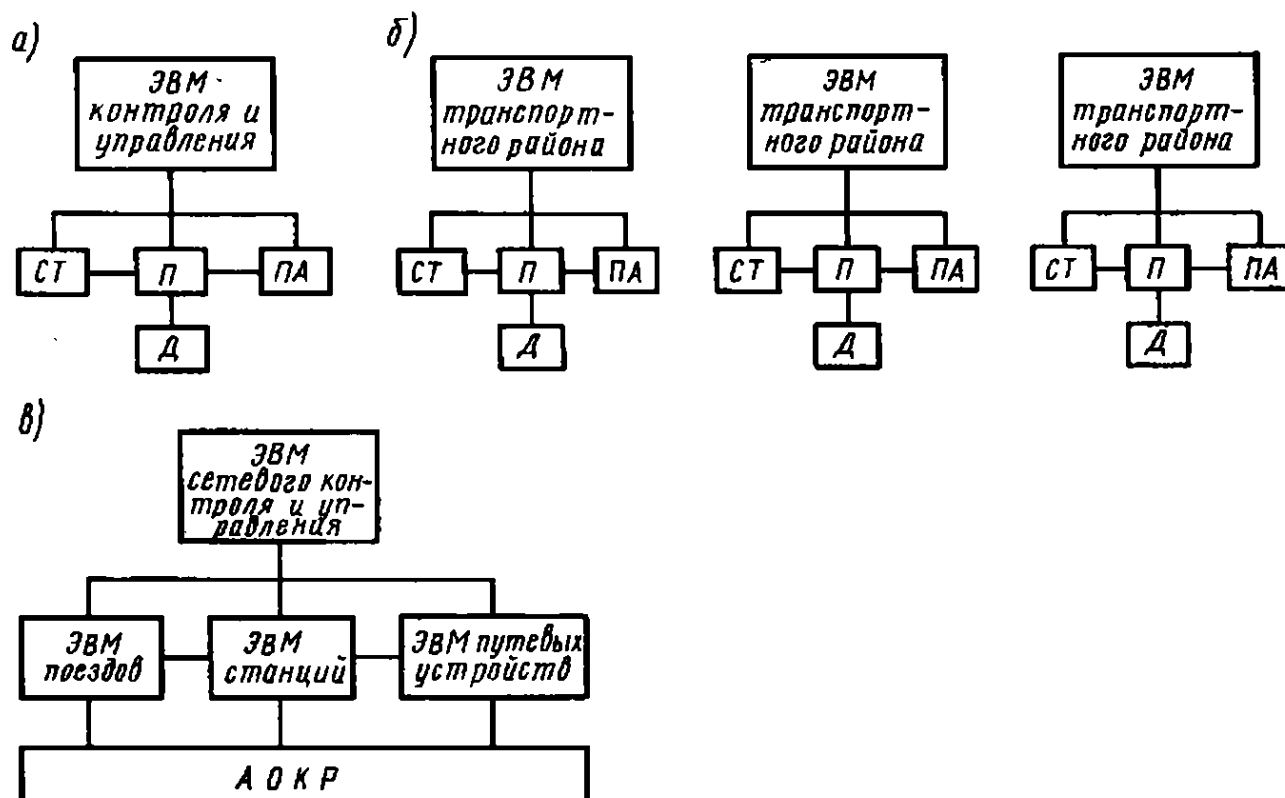


Рис. 19.18.

ческих устройств объектов контроля и регулирования *АОКР* на несколько ступеней, связанных только небольшим количеством выходных параметров, например три, как показано на рис. 19.18, в. Здесь ЭВМ сетевого контроля и управления ЭВМ СКУ осуществляет решение задач контроля и регулирования движения на высшем уровне (выполняет функции СЦД по рис. 19.7); ЭВМ контроля и управления автоматикой объектов управления — поездов (ЭВМП), станций (ЭВМ СТ) и путевых устройств (ЭВМ ПА) — составляют второй уровень регулирования и, наконец, автоматика отдельных объектов контроля и регулирования *АОКР* решает задачи управления отдельными поездами, стрелками и другими объектами. Такое разделение уменьшает до минимума поток информации между ступенями и повышает надежность всей системы. Поэтому иерархическая система объединяет в себе достоинства централизованной и децентрализованной систем, причем в значительной степени лишена их недостатков. Эффективность ее зависит от правильного деления исходной системы на ступени.

Системы автоматического контроля и регулирования движения в маршрутных транспортных системах с жестким расписанием. Примерами маршрутных транспортных систем с жестким расписанием являются метрополитенные, трамвайные, троллейбусные, автобусные, системы городских скоростных электрических железных дорог и др. В настоящее время идут по пути автоматизации движения прежде всего тех видов маршрутного ГМПП, которые работают на изолированном полотне, исключая появление на нем посторонних людей, т. е. метрополитенов и электрических железных дорог, так как в этом случае на поездах можно не ставить сложных локаторных систем для «прощупывания» впереди лежащих участков пути с целью выявления отсутствия на нем посторонних предметов, тем более, что обеспечить достаточный радиус их действия, согласованный с величиной тормозного пути, в обычной транспортной обстановке невозможно. Однако имеются попытки автоматизации движения и наземных видов ГМПП (скоростного трамвая и автобуса), но только в случаях, когда они работают на изолированном полотне.

Системы поездной и путевой автоматики, обеспечивающие автоматическое вождение поездов на линии, называют *автомашинистом*. По характеру поездной автоматики различают два класса систем автомашиниста: программные и логические.

Программные системы автомашиниста обеспечивают режим движения поездов в соответствии с заданной программой независимо от случайных возмущений, появляющихся при работе поездов на линии. Они наиболее просты, но менее точно выдерживают график движения и другие показатели тяги по сравнению с логическими.

Логические системы автомашиниста основаны на принципе непрерывного решения уравнения движения поезда на ЭВМ с учетом всех внешних возмущений, влияющих на процесс движения. Они сложны, но зато обеспечивают более высокую точность графика движения и получение наиболее оптимальных экономических показателей тяги.

Принципиальная схема программной системы автомашиниста (рис. 19.19, а) складывается из программного устройства ПУ на центральном

диспетчерском пункте ЦДП, задающего режимы движения поездов, устройств станционной автоматики СА на станциях пассажирообмена С, путевой автоматики ПА, на межстанционных перегонах и поездной автоматики на поездах П.

Рельсовую цепь перегонов между станциями С разделяют на электрически изолированные участки 1, 2, 3 и 4 и питают переменным током с определенным кодом, задающим скорость движения поезда П. Эта информация воспринимается и перерабатывается приемными устройствами головного вагона поезда. Приемник поезда ПрП (рис. 19.19, б) принимает сигналы рельсовой цепи и через усилитель УС1 передает в дешифратор ДШ для расшифровки. В логическом устройстве БС (блоке сравнения) расшифрованный сигнал рельсовой цепи сравнивается со скоростью поезда, поступающей в виде соответствующего сигнала в БС от тахогенератора ТГ, установленного на оси колесной пары, через усилитель УС2.

В зависимости от соотношения сигналов ПрП и ТГ блок сравнения БС вырабатывает команды на увеличение или снижение скорости движения, которые поступают в исполнительный механизм ИМ. Последний представляет собой группу реле, управляющую режимами тяги и торможения, а также открыванием и закрыванием дверей поезда.

На станции С после получения соответствующего сигнала автоматически закрываются двери, производится отпуск тормозов и разгон поезда до заданной скорости. При подходе к следующей станции поезд попадает на участок рельсовой цепи, получающей из программного устройства ПУ команду на снижение скорости. При этом включается реостатное или другое торможение и скорость поезда снижается до 8—

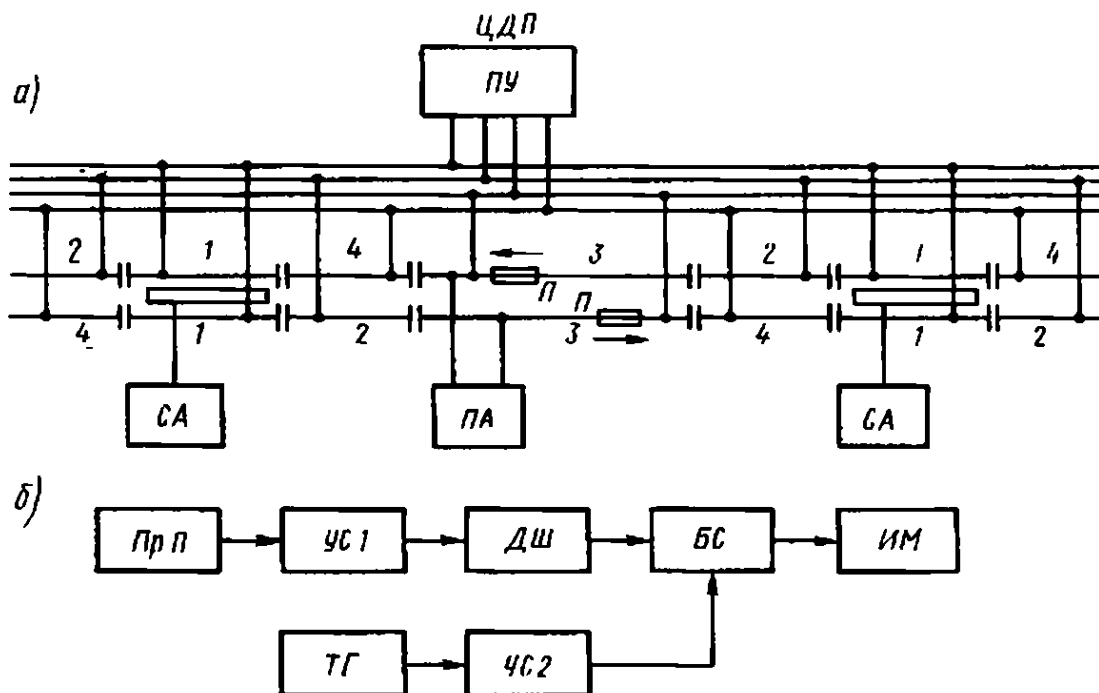


Рис. 19.19

Принципиальная схема межстанционного перегона с устройствами автоматики (а) и функциональная схема автоматического управления поездом с автоматическим программным устройством (б)

10 км/ч. На этой скорости поезд проходит следующий рельсовый стык на станционных путях и получает следующую команду, вызывающую срабатывание механических тормозов и остановку поезда.

Схема автомашиниста, построенная по принципу логических систем (рис. 19.20), более сложная. Ее центральный узел — блок арифметического устройства *БАУ*, выполняющий тяговые расчеты. Работу этого блока обеспечивают датчики скорости v , пути S и времени t , импульсы которых преобразуются в двоичные числа и поступают в виде исходной информации (текущих значений пути, скорости и времени) в *БАУ*. Датчики v и S монтируют на буксах первой по ходу поезда колесной пары. Путевой датчик *ПД*, установленный непосредственно на пути, предназначен для фиксации начала участка торможения. Он же производит сброс ошибки, накопленной датчиком пути S за предыдущее время движения поезда.

Блок постоянной программы *БПП* служит для хранения и выдачи данных о профиле пути, времени хода и стоянок, максимальной допустимой скорости и ограничениях ее по пути, соответствующих оптимальному режиму движения поезда. Блок поездных характеристик *БПХ* сохраняет и выдает данные о тяговых и тормозных характеристиках, а также характеристиках сопротивления движению поезда.

Оперативный блок *ОБ* передает команды арифметического блока *БАУ* цепям управления *ЦУ* тяговыми двигателями и тормозными устройствами. В нем заложены также схемы и команды служебной и аварийной сигнализации.

Отправление поезда со станции производится при нажатии машинистом кнопки «Пуск» на пульте управления. Все остальные операции управления выполняются автоматически. ЭВМ *БАУ* в процессе движения поезда непрерывно решает задачу тягового расчета фактического движения и сравнивает его результаты с оптимальным графиком движения, заложенным в память машины. По результатам сравнения фактической и заложенной оптимальной кривых движения оперативный блок *ОБ* выдает оптимизирующие команды на исполнительные органы поезда.

Системы автомашиниста, конечно, значительно сложнее обычных неавтоматических систем управления движением, но их внедрение позволяет снять целый ряд ограничений движения, связанных с ограниченными психофизическими возможностями человека (машиниста) в отношении быстроты реакции на изменения транспортной обстановки, утомляемостью и т. д. В результате появляется возможность значительно повысить плотность движения и провозную способность линий МПТ, оптимизировать движение по времени (графику), расходу электрической энергии на движение и другим показателям.

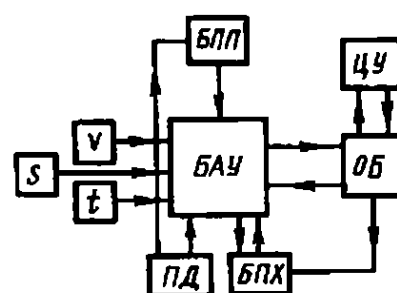


Рис. 19.20

Схема автомашиниста логической системы

движения. Она сокращает стоянку поездов на станциях при опозданиях и задерживает их при нагонах, на конечных станциях направляет поезд на поворотное кольцо и готовит его к новому рейсу, управляет устройствами освещения поездов, открывает и закрывает двери со стороны посадочной платформы. В памяти этой ЭВМ хранятся графики движения поездов для каждого дня недели. Взаимодействие между ЭВМ Б и ЭВМ СУ осуществляется так, что сигналы ЭВМ СУ проходят на поезд через ЭВМ Б, которая может их пропустить, а может и задержать (блокировать), если они не соответствуют сложившейся транспортной ситуации. Так, например, приказ на закрывание дверей и отправление поезда от ЭВМ СУ проходит на поезд только в случае, если ЭВМ Б установила наличие достаточного расстояния до впереди идущего поезда.

Для всех АСУД характерен постоянный обмен информацией между ЦДП и всеми поездами. Наилучшим способом связи считают индуктивную бесконтактную высокочастотную систему связи, которая применима для всех типов пути и для всех климатических условий, включая зимние со снежным покровом на путях. Радиосвязь исключается по соображениям недостаточной надежности передачи и приема сигналов. Более надежна проводная связь для передачи высокочастотных сигналов через уложенный в пути антенный провод при небольшом воздушном промежутке до приемника. Область используемых частот 30—70 кГц, а скорость передачи сигналов 600—2400 телегр. сигн/с. Сообщение, передаваемое поезду, содержит адресный код, по которому оно принимается только тем поездом, которому сообщение адресовано; задаваемую скорость движения и расстояние до впереди идущего поезда; команды на экстренное торможение, перехода на служебное торможение, изменения направления движения, перехода на маневровый режим; команды оповещения названия станции, открывания правых или левых дверей, закрывания дверей. В ответных сообщениях с поезда содержится адресный код для обозначения поезда, посылающего сообщение; информация о местонахождении поезда, положений реверсора и т. д.; вызов на телефонную связь. Точность приема сигналов определяет величина разрывов между их частотами в области используемых частот.

Способ передачи информации на движущийся поезд может быть различным. При неизолированных от земли рельсах для передачи сигналов используют одножильный линейный проводник в специальной кабельной изоляции. Вторым проводом в этом случае является земля. Если путь имеет оба изолированных рельса или движение поездов происходит по безрельсовому пути, то укладывают два антенных провода: один по средней линии колеи и другой по колее одного из колес. На поезде устанавливают две приемно-передающих антенны, каждая из которых представляет собой ферритовый сердечник с двумя обмотками.

На подвижном составе, предназначенном для работы в системе автоматического управления, устанавливают аппаратуру для приема и передачи информации; аппаратуру управления тягой и торможением поезда, действующую в соответствии с получаемой информацией; оборудование для измерения пройденного пути и скорости движения поезда; приборы, показывающие переданную для поезда информацию, и телефонное оборудование для переговорной связи через антенный про-

вод между поездом и ЦДП. При полностью автоматической системе управления без машиниста показывающие приборы иметь не обязательно, но при эксплуатации поездов под контролем машиниста они нужны.

В настоящее время считают, что применение любых видов автоматического управления повышает безопасность движения поездов и экономическую эффективность тяги, но предпочтение отдают системам, при которых автоматика работает под контролем машиниста. Они оказываются более простыми, имеют более высокий психологический уровень доверия со стороны пассажиров и более экономичны. Ряд таких систем уже работает в эксплуатации на метрополитенах СССР, США, Англии, Японии и других стран, на городских электрических железных дорогах типа BART в США. В дальнейшем они будут развиваться прежде всего в направлении повышения надежности, снижения стоимости и расширения области рационального применения при различных условиях движения.

Принципы автоматического контроля и регулирования движения в транспортных системах типа кибер-такси (PRT). Технологический процесс организации движения по запросам на пассажироперевозки, характерный для систем кибер-такси, включает в себя:

- 1) Сбор запросов на пассажиропоездки и немедленную передачу их в ЦДП для обработки;
- 2) выдачу поездов в пункты затребования (свободных или не полностью заполненных, следующих в тот же пункт назначения);
- 3) выбор кратчайших маршрутов безостановочного движения поездов между пунктами отправления и назначения с учетом загрузки транспортной сети и исключения столкновений экипажей;
- 4) связь транспортной сети с эксплуатационными депо для затребования новых поездов и возвращения не нужных на линии.

Все эти операции технологического процесса должны быть автоматизированы. Решение проблем автоматизации различных систем кибер-такси определяются их построением и комплексом требований, которые к ним предъявляются:

- 1) подвижной состав кибер-такси необходимо предоставлять в распоряжение пассажиров немедленно по требованию или в кратчайший срок;
- 2) экипажи нужно направлять к заданной цели (пунктам назначения) через транспортную сеть по кратчайшему во времени пути;
- 3) система должна оставаться работоспособной при повреждениях сети: выходе из строя узлов автоматики или экипажей и заторах;
- 4) порожний (нулевой) пробег экипажей должен быть минимальным;
- 5) автоматизация должна обеспечивать максимальную безопасность движения.

Для удовлетворения этих требований системы кибер-такси должны иметь:

- 1) специальную изолированную транспортную сеть с магистральными путями и ответвлениями к станциям пассажирообмена (рис. 19.22), обеспечивающими возможность безостановочного движения экипажей по магистральному пути без задержек поездами, совершающими пассажирообмен на остановочных пунктах. Для этого переход поездов на ответвления к остановочным пунктам для пассажирообмена должен

происходить на максимальной скорости движения и не требовать снижения скорости движения других экипажей, следующих по магистральному пути;

2) единый электропривод и единое автоматическое управление всеми экипажами, включая систему автоматического регулирования интервалов между поездами и скорости их движения, систему непрерывной передачи каждому поезду путевых сигналов о заданной скорости, автоматическое регулирование направления движения на стрелках ответвления и пр.;

3) систему устройств, исключающих вмешательство пассажиров в процесс движения: попадание на пути транспортной сети, открывание и закрывание дверей экипажей, высывание из окон экипажей и т. д. Пассажирский салон в процессе движения должен быть связан с внешним миром только телефонной связью;

4) аварийное электроснабжение через дополнительные контактные провода при выходе из строя основной системы электроснабжения.

В связи с большим объемом перерабатываемой информации системы кибер-такси могут иметь только нерархическую систему автоматического управления. Рекомендуют обычно трехступенчатую иерархическую систему управления. Первая ступень *I* регулирования этой системы — ступень перегона (рис. 19.23, *а*). Ее составляют установленные в каждом экипаже индивидуальные системы измерения расстояния до впереди идущего поезда, которые самостоятельно регулируют зависящее от скорости движения расстояние между поездами. Обычно эту систему рассчитывают на максимальные скорости движения экипажей и соответствующие этим скоростям интервалы между поездами l_n . При этом необходимо иметь только избыточный контур регулирования без расчетной системы. Однако с целью повышения плотности движения до максимальной применяют и гибкие системы регулирования интервалов l_n в функции скорости движения по расчетному тормозному пути.

Вторую ступень *II* регулирования составляют: управление на стрелках разветвления с помощью стрелочных единиц разветвления *СЕР* и на стрелках сплетения с помощью стрелочных единиц сплетения *СЕС* (рис. 19.23, *б*), управление на станциях с помощью станционных единиц управления *СЕУ* и блоков кодирования цели *К* (рис. 19.23, *в*), задание скорости движения экипажей с помощью блоков задания скорости *v* и подсчет транспортного потока счетчиками *Т* (рис. 19.23, *г*).

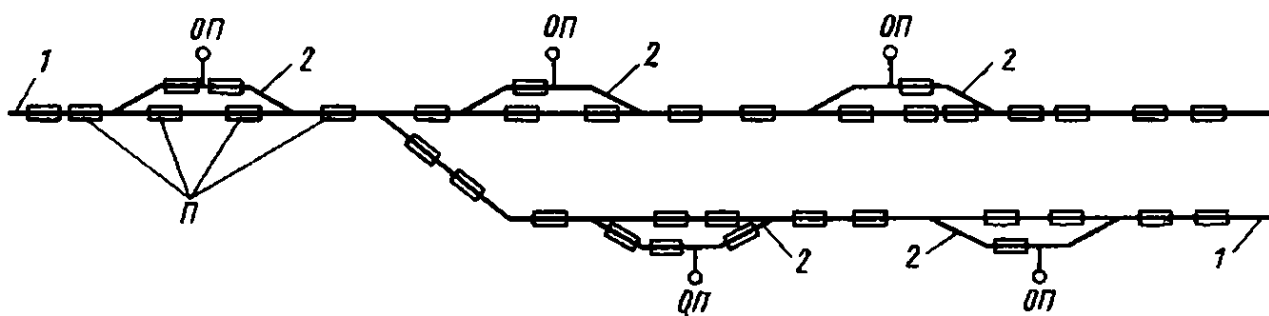


Рис. 19.22

Принципиальная схема трассы транспортных систем кибер-такси (PRT) с магистральными путями (1) и ответвлениями (2) к станциям пассажирообмена ОП

Третью ступень *III* регулирования представляет ЭВМ сетевого управления ЭВМ СУ, регулирующая работу всех систем автоматики по их выходным параметрам (рис. 19.23, *д*).

Станции пассажирообмена в системах кибер-такси устраивают на ответвлениях 2 от магистрального пути 1 (рис. 19.24, *а*). На станциях устанавливают билетные автоматы БА и пункты погашения проездных билетов ПП на проходах к экипажам на посадку (по типу турникетов метрополитенов). Они формируют информацию о запросах на пассажиропоездки и их целях (пунктах назначения). Эта информация поступает в станционную единицу управления СЕУ. На входе и выходе станций устанавливают счетчики транспортного потока Т. По данным этих счетчиков определяют количество экипажей, готовых к обслуживанию пассажиров станции, сравнивают эти данные с запросами на пассажиропоездки, поступающими от турникетов ПП, и рассчитывают дефицит или избыток наличия экипажей. Результаты этих расчетов СЕУ сообщает ЭВМ сетевого управления ЭВМ СУ, которая, получая эти данные со всех станций, решает задачу оптимальной передислокации экипажей на сети. В случае выхода из строя ЭВМ СУ станционные единицы управления СЕУ обеспечивают независимый от нее обмен экипажами между станциями, но в этом случае он будет менее оптимальным.

Выбор маршрутов следования экипажей на сети между пунктами отправления и назначения производит ЭВМ СУ с учетом загрузки сети по участкам и аварийных перерывов движения на отдельных участках, а также критериев минимума затрат транспортного времени пассажиров и пробега экипажей. Данные о загрузке участков сети экипажами

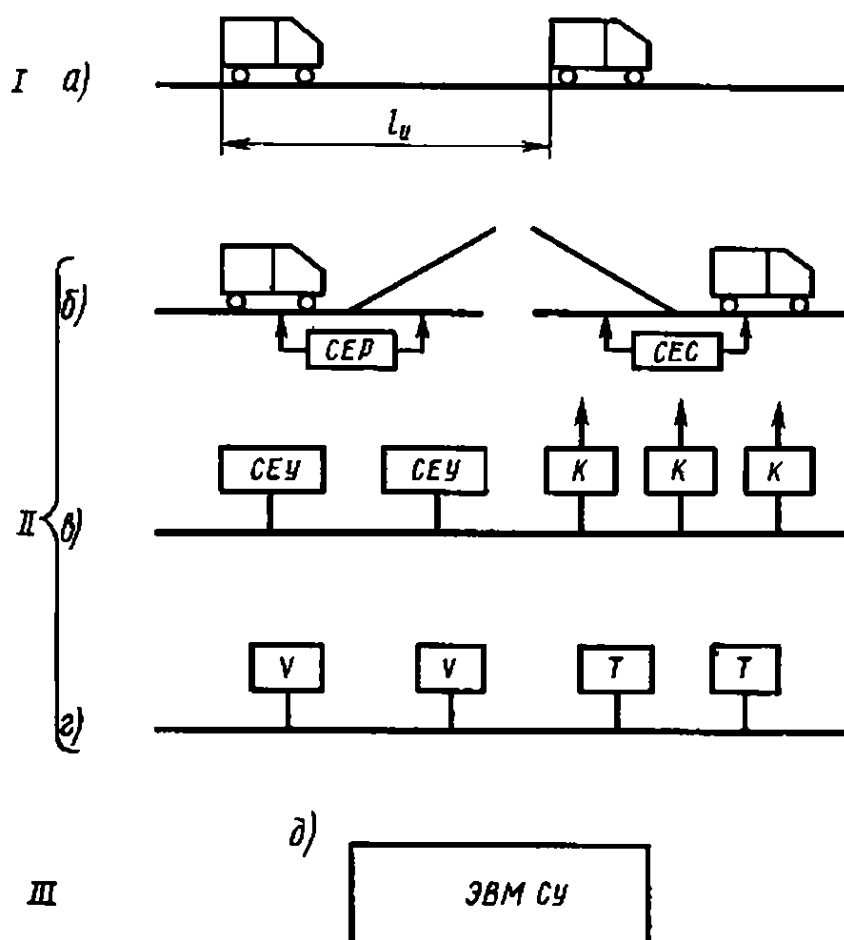


Рис. 19.23

Схема трехступенчатого иерархического управления транспортной системой кибер-такси

Организация движения экипажей кибер-такси между пунктами отправления и назначения должна быть безостановочной, т. е. такой, чтобы переход экипажей с магистрального пути на ответвления к станциям пассажирообмена и на сливающиеся направления не требовал остановки и снижения скорости движения ни самих этих экипажей, ни экипажей, следующих за ними по магистральному пути. Чтобы реализовать это требование, движение экипажей на сливающихся направлениях организуется системой автоматики по принципу «зеркального движения» (рис. 19.24, в). Он состоит в том, что движение по сети независимо от заполнения ее подвижным составом организуется как движение экипажных ячеек $1—18$, расстояния между которыми t определяются интервалом безопасности. При вступлении на перегон каждый из поездов занимает одну из экипажных ячеек так, чтобы они заполняли перед сплетением только те места, которым соответствуют зеркально свободные на другой ветви. В этом случае экипажи с обеих ветвей переходят на общую линию без остановки и с заданным интервалом.

Полная автоматизация позволяет получить наиболее высокую степень надежности и безопасности движения, оптимальное распределение транспортных потоков, минимальное транспортное время пассажиров и максимальную экономичность транспортной системы, благодаря чему системы кибер-такси при достаточной плотности транспортной сети обеспечивают не меньший и даже более высокий уровень транспортного обслуживания по сравнению с легковым автомобилем. При выходе из строя сетевой ЭВМ системы кибер-такси допускают продолжение эксплуатации, хотя она будет и менее оптимальной. О надежности систем кибер-такси дают представление, в частности, данные расчетов системы кибер-такси г. Моргантауна (США). Расчетное количество отказов этой системы составляет 10^4 в сутки, т. е. менее одного отказа за 28 лет, а вероятность столкновения экипажей $5 \cdot 10^{-5}$, т. е. менее одного отказа за 275 лет.

Основной недостаток, присущий системам кибер-такси, заключается в низкой провозной способности по причине использования экипажей небольшой вместимости, равной вместимости легкового автомобиля. Повышение вместимости экипажей кибер-такси ограничивается условиями наполнения благодаря тому, что система принципиально рассчитана на индивидуальное использование. Ряд систем кибер-такси рассчитан на двойной режим эксплуатации: свободный выбор маршрутов в межпиковые периоды и маршрутное движение в часы пик по пассажиронапряженным направлениям. В этом случае используют экипажи вместимостью до 20 пассажиров, но достаточно высокое наполнение они имеют только в часы пик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Непрерывно растущие пассажироперевозки ГПТ, вкладываемые в него капиталовложения, влияние на материальное производство и всю организацию городской жизни требуют уделения большого внимания вопросам оптимизации с целью максимального повышения экономичности городских транспортных систем, снижения непроизводительных затрат времени населением на передвижения, неблагоприятного воздействия на городскую среду, повышения безопасности движения и т. д.

Решение всех этих вопросов определяется развитием теории городских пассажирских перевозок.

В области теории городских пассажирских перевозок в настоящее время широко используют современные методы математического исследования и системный анализ. Однако сложное переплетение социально-экономических, демографических, градостроительных и прочих факторов, определяющих формирование городских пассажирских перевозок, затрудняют исследование их глубинных закономерностей. В основном до сих пор теория городских пассажирских перевозок остается эмпирической, а фундаментальные закономерности формирования транспортной потребности населения еще ждут открытий и исследований. Поиск в этом направлении и накопление соответствующих эмпирических данных составляет основу современного периода развития теории городских пассажирских перевозок.

Теорию городских пассажирских перевозок составляют прогнозирование пассажироперевозок и теория организации движения в действующих транспортных сетях.

Практический опыт организации движения ГПТ является базой развития теории городских пассажирских перевозок, ее экспериментальным полигоном. Из-за отсутствия точных методов прогнозирования городских пассажирских перевозок за основу современной практики организации движения принимают натурные обследования пассажироперевозок. К сожалению отсутствие единой методики транспортных обследований часто затрудняет их обобщение и сравнение результатов. Транспортные обследования в нашей стране еще не стали систематическими, а комплексная система транспортных обследований находится на стадии внедрения и требует уточнения. Необходима разработка под-

робной типовой методики транспортных обследований всех уровней для городов разной населенности.

Применяемые в настоящее время методы сбора данных о городском движении отличаются большой трудоемкостью даже при условии обработки их на ЭВМ. Существующая практика организации движения городского пассажирского транспорта очень часто не отвечает предъявляемым к ней требованиям, не обеспечивает нормативных затрат времени городского населения на передвижения и рентабельности городских транспортных систем. Решение этих вопросов возможно только при более широком внедрении в практику организации движения современных экономико-математических методов, идей и методов теории планирования эксперимента, а также автоматизированных и автоматических систем организации движения, обеспечивающих не только качественное улучшение показателей транспортного обслуживания населения, но и качественно новую систему исследований движения.

Главной проблемой практики организации движения ГПТ является формирование ее на принципе изучения и возможно более полного удовлетворения фактических запросов на пассажироперевозки. Большой интерес в связи с этим представляют идеи, заложенные в методы организации движения по запросам.

Большую сложность представляет прогнозирование пассажироперевозок. Транспортные системы отличаются большой стоимостью, консервативностью ТС и рассчитываются на длительный срок эксплуатации. Поэтому точное прогнозирование ожидаемых пассажироперевозок необходимо. Практика, однако, показывает, что современное транспортное прогнозирование отличается большими недостатками, причем часто не связанными с состоянием теории городских пассажирских перевозок. Последняя стыкуется здесь с еще недостаточно разработанными разделами общей прогностики, социологических теорий поведения отдельных людей и человеческих коллективов и др. Требуют внимания и разработки динамические теории и модели формирования городских пассажирских перевозок, обеспечивающие обоснованное прогнозирование развития городских пассажирских перевозок в историческом времени на достаточно длительные сроки.

Для всех математических моделей транспортных расчетов, используемых в настоящее время, характерно отсутствие увязки с общей задачей проектирования подсистемы «Город» на принципах системного подхода и неудовлетворительное математическое обеспечение. Последнее базируется на принципах линейного программирования, тогда как для транспортных задач характерна нелинейность связей определяющих факторов и их стохастичность. Используемые модели относятся к группе статических, не отражают обратных связей влияния транспорта на расселение во времени и поэтому не гарантируют оптимальности принимаемых решений.

Особого внимания требуют вопросы системного согласования характеристик городского транспорта с характеристиками обслуживаемого им города. Транспортная система должна увязываться с архитектурно-планировочной структурой города и максимально удовлетворять запросы не только пассажиров, но и всего городского населения в целом,

т. е. по своим санитарно-гигиеническим характеристикам, безопасности, эстетическим показателям, комфортабельности и другим показателям укладываться в нормы СНиП. Имея в виду преобладающее влияние планировочных характеристик города на характеристики его транспортной системы, необходимо при проектировании и реконструкции городов особое внимание уделять:

1) правильному зонированию городов и размещению основных центров транспортного тяготения (жилья, мест приложения труда, культурно-бытовых учреждений) по транспортным критериям;

2) созданию жилых районов и микрорайонов с замкнутой системой повседневного культурно-бытового обслуживания магазинами, школами, детскими садами и яслями, парикмахерскими и другими предприятиями культурно-бытового обслуживания;

3) оптимальному проектированию магистральной сети с учетом транспортных критериев прямолинейности связей главных центров транспортного тяготения, дифференциации магистралей по видам движения, снижения транспортной нагрузки городских центров планировочными мероприятиями, удобства связей с пригородами в агломерации город-пригород. ТС должна рассматриваться в виде связного графа с уровнем надежности вершин и звеньев $P < 1$ и проектироваться по критерию максимума общей надежности с учетом пропускной способности и методов организации движения. Иначе говоря, проектирование магистральных сетей должно быть построено на принципах системного подхода с учетом стохастического характера движения и неполной надежности ее элементов. В связи с непрерывным ростом интенсивности движения исследования надежности транспортных сетей приобретают особое значение.

4) рациональной организации грузовых перевозок с выводом их за пределы центральных районов, жилых зон и мест массового отдыха;

5) возможно более точному прогнозированию уровня автомобилизации и ее доли в освоении пассажироперевозок; градостроительному обеспечению выявленного уровня автомобилизации автостоянками, гаражами-гостиницами и другими предприятиями автосервиса;

6) полному обеспечению нормируемых СНиП затрат транспортного времени населения на передвижения. В связи с территориальным ростом городов решение этой задачи требует использования скоростных видов ГПТ и, в частности, более полного использования городских железных дорог — железнодорожных диаметров и глубоких вводов. Требуют уточнения методы выбора и проектирования скоростного городского транспорта.

Весьма остро стоят вопросы правильной организации транспортного проектирования. Опыт разработки комплексных транспортных схем доказывает необходимость использования всеми проектными организациями единой методики транспортного проектирования, обеспечивающей полную сопоставимость результатов, и разработки единых развернутых методических указаний по проектированию, утверждаемых и перерабатываемых в плановом порядке Госстроем СССР. Характерными организационно-техническими недостатками разработок комплексных транспортных схем, выполненных различными проектными

организациями, можно считать [23]: заметные расхождения между прогнозируемой численностью населения городов и фактическими темпами его прироста; недостаточное внимание организационно-техническим мероприятиям улучшения организации движения ГПТ, использование которых обеспечивает значительное улучшение качества транспортного обслуживания населения при минимальных затратах; недооценку возможностей наземных видов ГМПТ, в частности наземного электро-транспорта (особенно трамвая, который по условиям охраны среды проживания городского населения, высокой провозной способности и скорости сообщения на вылетных линиях остается наиболее мощным средством городских пассажирских перевозок); переоценку возможностей практического внедрения метрополитенов, ограниченных большими капитальными затратами и сроками строительства, а также сравнительно высокими экономически оправданными пассажиропотоками; недостаточное внимание, уделяемое использованию сети железных дорог для организации скоростного сообщения в городах; недостаточную проработку вопросов взаимодействия городского, пригородного и внешнего транспорта в агломерации город-пригород; недостаточную увязку на принципах системного подхода задач транспортного планирования с планировочно-градостроительными. При разработке комплексных транспортных схем планируемые мероприятия на расчетный срок 10—15 лет должны увязываться не менее, чем с перспективой генерального плана (25—30 лет). Это повысит их обоснованность и перспективность.

Необходимо отказаться от вариантного метода проектирования городских транспортных систем, поскольку он не обеспечивает однозначности принимаемых решений. Альтернативой современным методам транспортного расчета корреспонденций, требующим предварительного вариантного выбора ТС и маршрутной системы, являются методы направленного поиска оптимальной ТС по принятым критериям оптимизации, получившие обоснование в работах Л. А. Яковлева, М. Я. Сницаря и других советских исследователей. С использованием идеи машинного итерационного наращивания ТС можно предложить алгоритм транспортного расчета, включающий:

1. Выбор избыточного «полигона» наземных путей сообщения, включающего всю улично-дорожную сеть проектируемого города.

2. Расчет методом взаимных корреспонденций транспортных районов этой сети при скорости сообщения, равной скорости пешехода. Если результат этого расчета дает удовлетворяющий СНиП удельный объем трудовых передвижений с приемлемыми затратами времени, то ГМПТ не нужен. Превышающий нормы СНиП удельный вес трудовых передвижений с затратами времени более 30 мин (γ_{30}) в малых и средних городах или 40 мин (γ_{40}) в крупных и крупнейших городах указывает на наличие потребности проектируемого города в ГМПТ.

3. Организацию цикла расчетов уличных видов ГМПТ с итерационным наращиванием их ТС путем перевода в сеть ГМПТ тех участков

избыточного полигона наземных путей сообщения (выражающегося в назначении на них скорости сообщения, равной скорости сообщения уличных видов ГМПТ), транспортная нагрузка которых превышает минимальный экономически оправданный пассажиропоток рассматриваемых видов транспорта. Признаком конца этих расчетов является достижение заданной величины γ_{30} (γ_{40}) или прекращение итерационного наращивания транспортной сети ГМПТ.

4. Выбор избыточного полигона возможных скоростных транспортных систем (СТС), включающего участки улично-дорожной сети, допускающие прокладку СТС наземного или мелкого заложения, и линий СТС глубокого заложения.

5. Расчет методом взаимных корреспонденций транспортных районов сети уличных видов ГМПТ и принятого полигона СТС при скорости сообщения, равной скорости сообщения уличных видов ГМПТ, с последующим отбором в СТС тех участков, транспортная нагрузка которых превышает минимальный экономически оправданный пассажиропоток рассматриваемых видов СТС. Признаком конца этих расчетов является достижение заданной величины γ .

Предлагаемый алгоритм требует дополнительных обоснований и уточнения, в частности в отношении критериев оптимизации, но сама идея имеет практический интерес. В отношении закладываемых в него критериев оптимизации необходимо иметь в виду, что комплексные транспортные схемы городов и транспортное проектирование должны быть хорошо увязаны со всеми элементами города (системами труд-селитьба, культурно-бытового обслуживания, организации досуга, санитарно-гигиенической и эстетической средой) на системной основе и рассматриваться как органическая часть комплексных градостроительных планов. Окончательный вариант транспортного решения города должен выбираться не только по транспортным критериям, а и с учетом частных критериев оптимизации всех систем города по критерию общей оптимальности.

В связи с требованиями практики, непрерывным ростом объемов пассажироперевозок и общим социально-техническим развитием общества значение теории городских пассажирских перевозок непрерывно возрастает. Повышение достоверности и точности транспортного проектирования и практики организации движения ГМПТ приобретают особую актуальность в связи с задачами повышения эффективности капиталовложений и улучшения условий жизни в городах, поставленными XXV съездом КПСС. Существенного развития теории и практики проектирования ГПП и организации движения ГМПТ следует ожидать в самые ближайшие годы. Большое поле деятельности в этом направлении открывается перед выпускниками вузов по специальности «Городской электрический транспорт».

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

$A, \bar{A}$ — соответственно объем пассажироперевозок (пасс/год, пасс/сут., пасс/ч) и удельный объем пассажироперевозок [пасс/(год · км), пасс/сут. · км, пасс/(ч · км)];

$A_{тр}, A_{МПТ}, A_{ИПТ}$ — соответственно объемы пассажироперевозок всеми видами ГПТ, МПТ и ИПТ;

a_A — степень автомобилизации (автомобилей на 1000 жителей);

$F, F_{ср}, F_3, F_p$ — соответственно пассажиропоток [(пасс-км/(ч · км)) средний, эквивалентный и расчетный пассажиропоток];

$Q, \bar{Q}$ — объем транспортной работы (пассажирооборот) (пасс-км/год, пасс-км/сут., пасс-км/ч) и удельный пассажирооборот (средний пассажиропоток) [пасс-км/(год · км)], [пасс-км/(сут. · км)], [пасс-км/(ч · км)];

$l_{пд}, L_{ср}$ — длина поездки (км), средняя длина поездки (км);

$l_{и}, t_{и}$ — средняя длина внутрирайонных передвижений и затраты времени в них;

k_3 — коэффициент заполнения картограммы пассажиропотоков;

t_o, l_o — общие затраты времени в передвижении (трудность сообщения) (мин) и общая длина передвижения (корреспонденции) (м);

$t_{пеш}, t_{ож}, t_{тр}$ — составляющие трудности сообщения (затраты времени на пешеходные передвижения к ОП и от ОП к ПН, на ожидание транспорта и транспортное);

$t_{п.п}, T_{пер}, t_{пер}$ — затраты времени (мин) в поездке, на пересадки и на переходы между ОП при пересадке;

$t_{наж}, \theta_{наж}$ — накладные затраты времени в транспортных передвижениях и коэффициент накладных затрат времени;

t_n — приведенная трудность сообщения;

$k_{пер}$ — коэффициент пересадочности;

$\epsilon_{пеш}, \epsilon_{ож}, \epsilon_{тр}$ — коэффициенты психологической оценки населением составляющих трудности сообщения (пешеходных передвижений, ожидания транспорта и транспортных);

$t_{o,ср}$ — средняя трудность сообщения в передвижениях населения к городскому центру (главному транспортному узлу города) или какой-либо другой точке городской территории от мест приложения труда, жилых зон и центров нетрудового тяготения;

$t_{с.в}$ — средневзвешенные затраты времени на одно передвижение;

$t_{р.в}$ — равновероятная временная удаленность объектов тяготения от мест жительства;

ϵ_p — коэффициент нерегулярности (увеличения затрат времени на передвижения, связанного с нерегулярностью подхода поездов к ОП и отказами пассажирам в посадке);

$g_{тр}, g_{пеш}$ — доступность тех или других точек городской территории в транспортных и пешеходных передвижениях (величина, обратная трудности сообщения);

$\epsilon_{эф}$ — коэффициент эффективности транспортной системы по экономии затрат времени в передвижениях;

$A_{вх}, A_{вых}, A_0$ — объем посадки, высадки и общее количество входящих и выходивших пассажиров в поезда (пассажирообмен поездов) на ОП в единицу времени (пасс/ч);

$R_{оп}, \rho_{оп}$ — пассажирообмен ОП (пасс/ч) и коэффициент пассажирообмена ОП;

$t_{пасс}$ — затраты времени на посадку-высадку одного пассажира (с);

m_p, m_c — расчетная вместимость подвижного состава (пасс.-мест) и количество мест в поезде для сидящих пассажиров;

$F_{ст}, \alpha$ — свободная площадь пола пассажирского салона поезда для размещения стоящих пассажиров (m^2) и коэффициент заполнения прохода (площадь $F_{ст}$) (чел./ m^2);

$N_{дв}, N_n, N_m$ — количество подвижного состава в движении (поездов), в инвентаре (поездов) и количество предоставляемых пассажирам пассажирских мест в поезде;

$\Delta N_{дв}$ — расчетное уменьшение количества требующегося подвижного состава на маршруте при переводе его на экспрессный режим работы;

k_n — коэффициент использования вместимости подвижного состава (заполнения пассажирских мест в поездах);

J, P, B — интенсивность движения (поездов/ч), пропускная способность (поездов/ч) и провозная способность (пасс./ч);

$J_{пр}$ — приведенная интенсивность движения;

$P_{макс}, P_{оп}, P_{ор}, P_{ц}, P_{с}$ — пропускная способность полосы движения, одностороннего остановочного пункта, рассредоточенного остановочного пункта, перекрестка и затяжного спуска со светофорным регулированием;

$t_{ж.п}$ — среднее время задержки транспорта на перекрестке в ожидании сигнала, разрешающего движение;

n_l, n_p — линейная (поездов/км) и поверхностная (территориальная) (поездов/км²) плотность движения транспортных средств;

n_Q — территориальная плотность транспортной работы системы ГПТ;

k_{F3}, k_{Q3} — коэффициенты неравномерности территориальной плотности движения и транспортной работы по зонам города;

$k_n, k_r, k_a, k_{т.б}$ — коэффициенты приведения транспортных средств по динамическому габариту;

t_n, l_n — интервал между поездами в единицах времени (мин, с) и длины (м) (путевой интервал, динамический габарит);

t_m, t_c — маршрутный и сетевой интервалы (мин);

$t_{н.с}, t_{н.с}$ — среднесетевой маршрутный интервал (м, мин);

$l_m, l_{м.ср}, l_{м.мин}, l_{м.макс}$ — длина маршрута, средняя, минимальная и максимальная длины маршрута;

$l_{дв}$ — время движения поезда по маршруту (без учета времени стоянок на конечных станциях) (мин);

t_p — время движения поезда по маршруту за один оборот (рейсовое время, время оборота) (мин);

$l_p, l_{полг}$ — длина перегона и оптимальная длина перегонов на маршрутах (м);

$l_{п.д}, R_{п.д}, R_{оп}$ — расстояние пешеходного подхода из глубины селитебного района к ОП МПТ (пешеходная доступность ОП МПТ), радиус пешеходной доступности ОП МПТ (м);

$l_{п.д.мин}, l_{п.д.макс}, l_{п.д.ср}$ — соответственно минимальное, максимальное и среднее расстояние пешеходного подхода к ОП МПТ (м);

$t_{п.д.мин}, t_{п.д.макс}, t_{п.д.ср}$ — минимальная, максимальная и средняя пешеходная доступность ОП МПТ в единицах времени (мин);

l_d — константа пространственной самоорганизации городского населения по затратам времени на передвижение (мин/передвижение);

T_d — константа пространственной самоорганизации городского населения по суточным затратам времени на передвижения (мин/сут);

$v_{пеш}$ — скорость движения пешехода (м/с, км/ч);

$v_x, v_{с.п}, v_{с.м}$ — ходовая скорость на перегоне, скорость сообщения на перегоне, скорость сообщения на маршруте;

v_3 — эксплуатационная скорость (м/с, км/ч);

$v_p, v_{р.ср}, k_v$ — разрешенная максимальная скорость движения на участках улично-дорожной сети, средняя разрешенная скорость движения на сети и коэффициент использования максимальной разрешенной скорости движения на маршруте или сети;

$v_{эк}$ — экономическая скорость движения на маршруте или сети;

$v_{спасс}, v_{спр}, v_{св}, v_c$ — скорость сообщения в поездке, приведенная скорость сообщения в передвижениях, средневзвешенная скорость сообщения с центром города (главным транспортным узлом города) или какой-либо другой точкой городской территории в передвижениях от мест приложения труда, жилых районов и центров нетрудового тяготения, скорость сообщения поездов;

v_x — конструктивная скорость движения подвижного состава (км/ч);

$t_h, t_n, t_{оп}$ — ходовое время, время выбега на перегоне, время стоянки поезда на ОП для пассажирообмена;

η_n — коэффициент выбега;

$F_{осв}, F_{сел}$ — освоенная и селитебная площади города или его отдельных зон (км^2);

$N, N_{тр}, N_{нс}$ — населенность города (общее количество населения), количество трудящихся и несамодеятельного населения;

h_l, h_f — линейная (жителей/км) и территориальная (жителей/км²) плотности расселения городского населения;

L_c — длина транспортной сети (км);

$\delta, \delta_{опт}$ — плотность транспортной сети (км/км²) и оптимальная плотность транспортной сети;

k_m — маршрутный коэффициент;

y — стрелочный коэффициент;

$k_{с}, k_{оя}$ — коэффициенты совмещения конечных станций и ОП маршрутов;

$h_{п.д}, h_{т.д}$ — относительная населенность зоны пешеходной доступности транспортных линий города и зоны транспортной доступности основных центров транспортного тяготения города (%);

k_o — коэффициент охвата транспортной сетью улично-дорожной сети города;

$k_{рад}$ — коэффициент радиальности (совмещения транспортных линий на уличных проездах);

L_o, L_y — длина эксплуатационных линий городской транспортной сети в однопутном исчислении и общая длина улиц города;

$k_{пл}, k_{пл.с}$ — коэффициент непрямолинейности передвижений и среднесетевой коэффициент непрямолинейности сообщений между важнейшими пассажирообразующими пунктами города;

$\gamma_t, \gamma_n, \gamma_{кб}$ — средние коэффициенты непрямолинейности сообщения с городским центром или какой-либо другой точкой городской территории от мест труда, жилых районов и центров нетрудового тяготения городского населения;

$\alpha_{осв}$ — коэффициент формы освоенной территории города;

$l_{в.о}, l_{в.з}$ — средняя воздушная удаленность освоенной территории города относительно его главного транспортного узла или других центров транспортного тяготения и средняя воздушная удаленность кругового города-эталона той же освоенной площади относительно его центра;

$\beta_t, \beta_n, \beta_{кб}$ — коэффициенты концентрации в плане города центров трудового тяготения, населения (жилых зон) и объектов нетрудового тяготения относительно городского центра или других точек городской территории;

$l_{вт}, l_{нб}, l_{кб}$ — воздушная удаленность от городского центра или какой-либо другой точки городской территории мест приложения труда, жилых районов (населения) и центров нетрудового тяготения населения;

$\chi_t, \chi_n, \chi_{кб}$ — сводные характеристики компактности размещения мест приложения труда, жилых районов и центров нетрудового тяготения относительно городского центра или какой-либо другой точки городской территории;

$\chi_б$ — коэффициент общей компактности планировочного решения городского плана по трудности сообщения относительно мест приложения труда, жилья и центров нетрудового тяготения населения;

$\bar{L}_c$ — средняя удаленность мест приложения труда, жилых зон и центров нетрудового тяготения города относительно городского центра (главного транспортного узла города) или какой-либо другой точки городской территории;

$P, P_{макс}$ — реализуемая и потенциальная подвижности населения (передвижения на жителя в год, сутки, час);

P_c — суточная подвижность (передвижений на жителя в сутки);

P_o — общая подвижность населения в городе (передвижений на жителя в год, сутки);

$P_a, P_{отн}$ — абсолютная и относительная подвижности;

$P_{пеш}, P_{тр}$ — пешеходная и транспортная подвижности;

$P_{МПТ}, P_{ИПТ}$ — транспортная подвижность, приходящаяся на средства МПТ и ИПТ;

$P_t, P_d, P_{кб}$ — трудовая, деловая и культурно-бытовая подвижность;

$P_{МПТ(м)}$ — учетная (маршрутная) транспортная подвижность МПТ;

$k_v, k_{вчн}$ — коэффициенты неравномерности наполнения вагонов в поезде на лимитирующем перегоне и внутрисетевой неравномерности наполнения поездов;

$\varphi_{тр}, \varphi_{тр.ср}$ — коэффициент пользования транспортом и средний по городу коэффициент пользования транспортом;

$\varphi_{МПТ}, \varphi_{ИПТ}$ — коэффициенты пользования МПТ и ИПТ;

$A_1(l, t)$, $A_T(l, t)$ — интегральная (кумулятивная) и дифференциальная функции расселения населения по дальности или затратам времени на передвижения к рассматриваемому центру тяготения;

d_l , d_t — функция тяготения по дальности и затратам времени в передвижениях к центрам тяготения;

K_Σ — единовременные суммарные капитальные затраты на организацию транспортного хозяйства (руб.);

K_l — удельные капиталовложения на 1 км длины транспортной сети (руб/км);

$K_{\text{пост}}$, $K_{\text{пер}}$ — постоянные (руб/км) и переменные (руб/поезд) удельные капиталовложения в транспортную систему;

K_u , K_Q — удельные капиталовложения в транспортную систему в расчете на одно предоставляемое пассажирам пассажиро-место и на единицу транспортной работы;

$\mathcal{E}$ — годовые эксплуатационные расходы по транспортному хозяйству (руб.);

C — себестоимость 1 пасс-км транспортной работы [коп/(пасс-км)];

T , T_n — срок окупаемости затрат и нормативный срок окупаемости затрат (лет).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Страментов А. Е., Сосняк В. Г., Фишельсон М. С.* Городской транспорт. М., 1969.
2. *Юдин В. А., Самойлов Д. С.* Городской транспорт. М., 1975.
3. *Городской скоростной пассажирский транспорт* / Под ред. *Д. С. Самойлова*. М., 1975.
4. *Ефремов И. С., Голыц Г. А.* Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта.
- Ч. 1. Теория городских пассажирских перевозок и АСУ городского транспорта. М., 1975.
5. *Яковлев Л. А.* Сравнение вариантов трассировки линий скоростного транспорта в крупных городах и выполнение ее с помощью ЭВМ. — В кн.: *Применение математических методов и вычислительной техники в градостроительных задачах, ЦНИИП градостроительства*. М., 1971.
6. *Яковлев Л. А.* Программное обеспечение технического расчета системы городских путей сообщения, представленной в сетевой форме (ЭВМ «Минск-22»). ЦНИИП градостроительства. М., 1976.
7. *Антошвили М. Е., Варелопуло Г. А., Хрущев М. В.* Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ. М., 1974.
8. *Дуднев Д. И., Климова М. И., Мени А. А.* Организация перевозок пассажиров автомобильным транспортом. М., 1974.
9. *Овечников Е. В., Фишельсон М. С.* Городской транспорт. М., 1976.
10. *Клиновштейн Г. И.* Организация дорожного движения. М., 1975.
11. *Зенгбуш М. В., Белинский А. Ю., Дынкин А. Г.* Пассажиропотоки в городах / Под ред. *М. С. Фишельсона*. НИИАТ, Ленинградский филиал. М., 1974.
12. *Меркулов Е. А.* Проектирование дорог и сетей пассажирского транспорта в городах. М., 1970.
13. Математические модели внутригородского расселения: Франко-советские градостроительные исследования. М., 1974.
14. Методические указания по проектированию сетей общественного транспорта, улиц и дорог. Госкомитет по гражданскому строительству и архитектуре при Госстрое СССР. ЦНИИП градостроительства; М., 1968, вып. 1.
15. Указания по расчету сетей общественного транспорта, улиц и дорог в проектах генеральных планов городов. ЦНИИП градостроительства. М., 1972.
16. Жилой район и микрорайон: Пособие по планировке и застройке. ЦНИИП градостроительства. М., 1971.
17. *Стрельников А. И.* Программное обеспечение технического расчета системы городских путей сообщения, представленной в маршрутной форме (ЭВМ «Минск-22»). ЦНИИП градостроительства. М., 1976.
18. Указания по разработке комплексных схем развития всех видов городского пассажирского транспорта для городов с населением 250 тыс. и более, представляемых на согласование в Госплан СССР. Госплан СССР. М., 1969.
19. Город и пассажир. ЛенНИИП градостроительства: Тезисы докладов ко II Ленинградской научной конференции. Л., 1971.
20. *Науменко В. С.* Организация движения городского электрического транспорта МЭИ, 1973.
21. *Рагон М.* Города будущего. М., 1969.

22. Современное состояние и перспективы развития транспортных систем крупного города: Тезисы докладов ко второй Свердловской научно-технической конференции. Свердловск, 1974, вып. 1.
23. Комплексные транспортные схемы городов: В помощь проектировщику. Киев, 1974.
24. Применение математических методов в градостроительстве: В помощь проектировщику-градостроителю. — Научно-технический тематический сборник. Киев, 1972.
25. Организация, методы и технология проектирования. Центральный институт научной информации по строительству и архитектуре Госстроя СССР: Реферативная информация. М., 1976, серия XIII, вып. 9.
26. Транспортная система городов различной величины: В помощь проектировщику-градостроителю. Киев, 1973.
27. В помощь проектировщику. Киев, 1972, вып. 8.
28. *Томилин А. И.* Организация движения трамвая и троллейбуса. М., 1969.
29. Городской транспорт и организация городского движения: Тезисы докладов к научно-практической конференции. Свердловск, 1973.
30. Применение математических методов и вычислительной техники в градостроительных задачах. Науч. тр. ЦНИИП градостроительства. М., 1971.
31. *Иванов В. В., Гаврилов А. А.* Применение ЭВМ на автомобильном транспорте. М., 1977.
32. Проектирование транспортных систем крупнейших городов. ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре. М., 1977.
33. *Мерлен П.* Город. Количественные методы изучения: Пер. с франц. М., 1977.
34. *Рюгер З.* Эксплуатация городского транспорта: Пер. с нем. М., 1977.
35. СНиП II-60—75. Ч. II, гл. 60. Планировка и застройка городов, поселков и сельских населенных пунктов. М., 1976.
36. *Стрельников А. И.* Программа определения потенциальной транспортной потребности по воздушным расстояниям (ЭВМ «Минск-22»). ЦНИИП градостроительства. М., 1977.
37. *Завадский Ю. В.* Решение задач автомобильного транспорта методом имитационного моделирования. М., 1977.
38. *Ванд Л. Э.* Методы оценки проектных решений в строительстве. М., 1975.
39. *Николаев М. И., Науменко В. С.* Основы автоматизации на городском транспорте. М., 1970.
40. *Кудряцев О. К., Федутин Ю. А., Чуверин И. И.* Транспорт городских центров. М., 1978.

СПИСОК СОКРАЩЕННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, ПРИНЯТЫХ В КНИГЕ

ГТ	— городской транспорт
ГПТ	— городской пассажирский транспорт
ГПС	— городские пути сообщения
ГМПТ	— городской массовый пассажирский транспорт
ИПТ	— индивидуальный пассажирский транспорт
ГЭТ	— городской электрический транспорт
ТЭД	— тяговый электрический двигатель
АСУД	— автоматизированная система управления движением ГТ, ГПТ, ГМПТ
АСДУ	— автоматизированная система диспетчерского управления
ОП	— остановочный пункт МПТ
ПО	— пункт отправления (начала передвижения)
ПН	— пункт назначения (конца передвижения)
ПДД	— правила дорожного движения
ПТЭ	— правила технической эксплуатации
ДТП	— дорожно-транспортные происшествия
ОД	— организация движения
ПД	— планирование движения
КРД	— контроль и регулирование движения
ИКД	— системы индивидуального контроля движения (автоматизированные)
АКИ	— системы автоматического контроля интервалов между поездами
ПДП	— проект детальной планировки
ППТ	— пригородный пассажирский транспорт
ГПП	— городские пассажирские перевозки
ПС	— подвижной состав
ПУ	— путевые устройства
ТС	— транспортная сеть
ГТС	— городская транспортная сеть
УНД	— улицы непрерывного движения
УРД	— улицы регулируемого движения

**ИВАН СЕМЕНОВИЧ ЕФРЕМОВ,
ВАДИМ МИХАЙЛОВИЧ КОБОЗЕВ,
ВАСИЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ЮДИН**

***Теория
городских
пассажирских
перевозок***

**Редактор В. И. Петухова. Художник Ю. Д. Федичкин. Худо-
жественный редактор С. Г. Абелкин. Технический редактор
Н. Н. Баранова. Корректор Р. К. Косинова**

ИБ № 1506

**Изд. № СТД—310. Сдано в набор 15.02.79. Подп. в печать 12.12.79.
Т-22705. Формат 60 × 90^{1/16}. Бум. тип № 2. Гарнитура Таймс. Печать
офсетная. Объем 33,5 усл. печ. л. + форзац 0,25 усл. печ. л. 35,63 уч.-изд.
л. + форзац 0,40 уч.-изд. л. Тираж 5000 экз. Зак. № 222. Цена 1 р. 60 к.**

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Заказ набран на фотоаборных машинах.

**Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государст-
венном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной
торговли. 150014, г. Ярославль, ул. Свободы, 97.**

Период
конной тяги

Период
паровой тяги

Период
электрической тяги

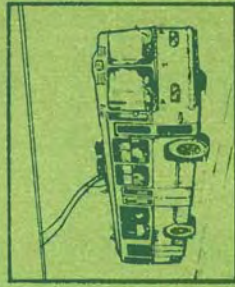
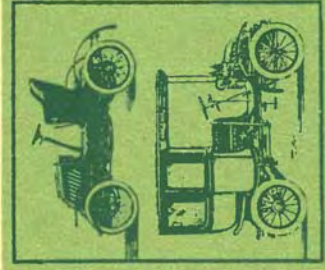
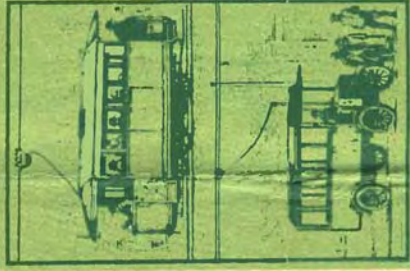
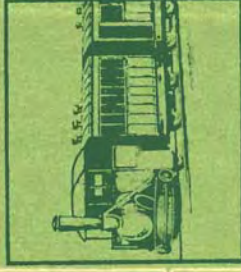
Период
автомобилизации

Современные
виды ГПТ

XVIII
век

XIX
век

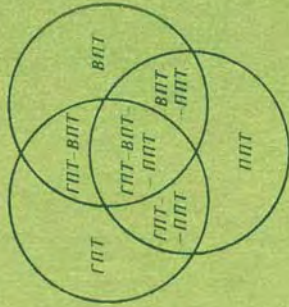
XX
век



ГПТ-ПОДСИСТЕМЫ В СИСТЕМЕ ГОРОДА



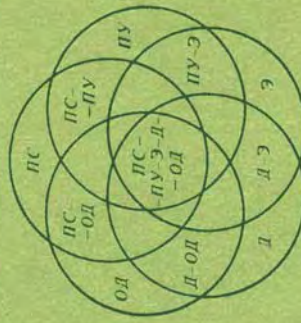
С – сетевые зоны
 П – промышленные зоны
 ИС – инженерные сооружения
 ТС – транспортные системы
 СС – системы информации и связи
 ПЗ – пригородные зоны



ГПТ – городской пассажирский транспорт
 ВПТ – внутренний пассажирский транспорт
 ППТ – пригородный пассажирский транспорт



ЛА – легковой автомобиль
 А – автобус
 ТБ – трамвай
 Т – метрополитен



ПС – подвижной состав
 ПУ – путевые сооружения и устройства
 Э – системы энергоснабжения
 Д – эксплуатационно-ремонтные базы подвижного состава
 ОД – системы организации движения