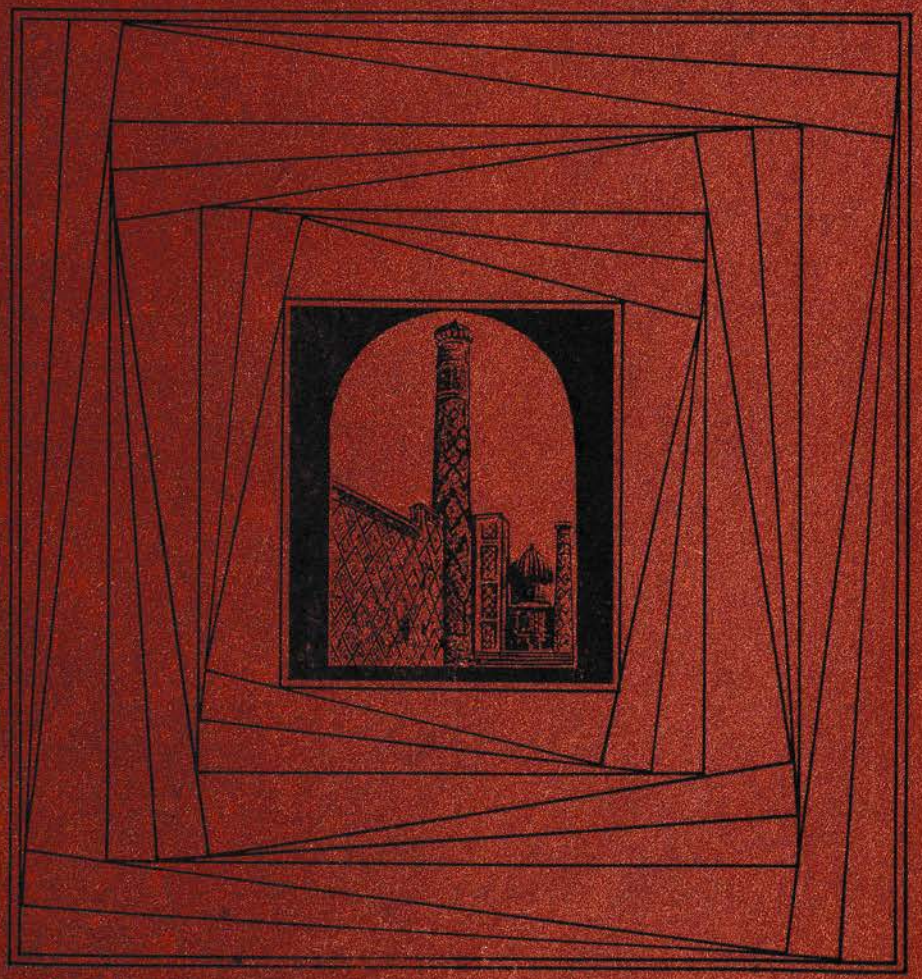
Э. М. Гендель

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАБОТЫ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ



Э. М. Гендель

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАБОТЫ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Москва
Стройиздат
1980

УДК 72.025

Рекомендовано к изданию секцией литературы по градостроительству и архитектуре редакционного совета Стройиздата.

Рецензенты: д-р техн. наук А. Н. Попов, канд. архитектуры Н. В. Караулов, канд. техн. наук С. А. Иванов.

Гендель Э. М. Инженерные работы при реставрации памятников архитектуры. — М.: Стройиздат, 1980. — 199 с., ил.

Освещены достижения в области консервации и реставрации памятников архитектуры в нашей стране и за рубежом. Изложена методика выявления причин разрушения памятников по характеру и расположению деформаций. Описаны способы фиксации существующего состояния памятников, порядок составления проекта инженерной консервации и реставрации, применяемые материалы.

Книга предназначена для архитекторов, искусствоведов и специалистов по реставрационным работам.

Табл. 2, ил., список лит.: 47 назв.

Г $\frac{30202-387}{047(01)-80}$ 55—79. 4902010000

© Стройиздат, 1980

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение памятников истории и культуры — основная задача инженерной консервации и реставрации. В данном случае понятие памятник истории и культуры обозначает отдельные архитектурные сооружения или их комплексы, служащие общественно полезным целям и связанные с культурой периода их возведения или каким-либо историческим событием. Инженерная консервация — это дисциплина, требующая знания не только строительной техники, но и многих других наук.

Проблемам консервации и реставрации памятников архитектуры в нашей стране уделяется большое внимание. Уже в ноябре 1917 г. распространяется «Воззвание Совета рабочих и солдатских депутатов», призывающее сберечь все, что досталось народу от «старых хозяев». Владимир Ильич Ленин в беседе с В. Д. Бонч-Бруевичем сказал: «Всю старину мы должны тщательно охранять не только как памятники искусства — это само собой, — но и как памятники быта и жизни древних времен. Сюда должны приходить экскурсии, здесь должны даваться подробные исторические объяснения посетителям»[1].

Совнарком РСФСР декретом «О регистрации, приеме на учет и сохранении памятников искусства и старины» 1918 г. объявил учет и охрану памятников культуры общегосударственным делом. Этот декрет провозглашал «изучение и возможно полное ознакомление широких масс населения с сокровищами искусства и старины, находящимися в России» [1]. Согласно этому декрету были созданы специальные научно-реставрационные производственные мастерские. Ленинское указание о сохранении культурного наследия нашло наиболее полное воплощение в утвержденном Верховным Советом СССР в 1976 г. Законе об охране и использовании памятников истории и культуры и в принятой в 1977 г. новой Конституции СССР.

В Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы подчеркивается, что «всемерный **режим экономии** — дело всех тружеников народного хозяйства». [2, с. 127]. При реставрации памятников повышение эффективности капитальных вложений — одна из основных задач. В первую очередь они должны направляться на укрепление объектов с целью их сохранения на века.

Действительно, сохраняемые памятники материальной и духовной культуры позволяют последующим поколениям осознать преемственность культуры, что придает истинный смысл настоящему и вселяет надежды на будущее. Ведь зрительное восприятие — основной сенсорный метод постижения людьми архитектурного наследия.

Сохранение любого памятника время от времени требует проведения научно обоснованных консервационно-реставрационных работ. В настоящее время опубликованы работы специалистов, в которых изложены теоретические основы реставрационного дела. Методика консервации и реставрации памятников архитектуры — это живое дело, требующее от каждого реставратора творческого подхода к решению встающих перед ним задач. Научные обоснования консервационно-реставрационных работ проходят проверку временем, изменяются и развиваются.

Возрастающий объем консервационных и реставрационных работ выдвигает сложные задачи научно-методического, а значит и практического характера. Поэтому инженерная консервация памятников архитектуры требует пристального внимания и совместной работы различных специалистов и в первую очередь архитекторов-реставраторов, инженеров и археологов.

Для развития любой науки требуются энтузиасты, влюбленные в нее и посвящающие ей всю свою жизнь. Ее поклонники должны обладать определенными способностями, даже талантом, которые необходимы для овладения избранной ими специальностью. Так, реставратор должен обладать талантом исследователя, хорошо знать строительное искусство, строительные материалы, разбираться в основах археологии, быть тонким ценителем красоты.

[1] «Литературная газета», 21 января 1941 г.

Мало есть зданий, особенно средневековых, которые строились бы в один прием. Большинство из них подверглось переделкам, обросло пристройками. Следовательно, перед началом реставрационных работ необходимо, основываясь на документах и снятых с натуры чертежах, точно определить время и характер каждой части. Реставратор должен знать не только типологические характеристики сооружений отдельных периодов истории искусства, но и конструкции, т. е. «анатомию», и стилевые различия разных архитектурных школ. Таким образом, чтобы возвратить здание к жизни, нужно предварительно получить неоспоримые доказательства изменений, которым подвергся памятник.

Сами памятники архитектуры часто являются творениями больших художников, вложивших в них все свое мастерство. А это означает, что реставратор, воссоздающий памятник, не имеет права изменить замысел мастера и главное не должен упустить при восстановлении того, что было точно определено по оставшимся следам. Ведь реставрация слагается из момента раскрытия и момента восстановления.

Инженерная консервация зачастую неотделима от реставрации, это хирургическая операция, а не ремонтные работы, хотя во многих случаях они между собой сходны. Ремонтные работы можно вести, не заботясь о сохранении старой кладки, живописи, скульптуры, что, естественно, недопустимо при реставрации памятников культуры. При инженерной консервации руководитель работ должен подробно изучить конструктивные особенности памятника и применявшиеся материалы, что, как правило, не интересует инженера при обычных ремонтных работах. При ремонтных работах ныне мало применяемые конструкции могут быть заменены новыми более простыми и дешевыми, что обычно считается недопустимым при инженерной консервации памятников.

Современная строительная техника позволяет укрепить любые сооружения, в том числе и руины. Однако через какой-то отрезок времени приходится вновь возвращаться к этому памятнику, поскольку его сохранность в первую очередь зависит от качества произведенных работ и прочности ранее применявшегося строительного материала, в том числе и вяжущего. Обычно повторное укрепление приходится проводить там, где применен камень невысокой прочности, который ко времени инженерной консервации потерял еще и значительную часть своей несущей способности. В отдельных случаях при сравнительно хорошо сохранившемся камне выветривается только раствор.

Здесь автор считает обязательным сделать небольшое, но важное отступление, заключающееся в допустимости применения вместо старых конструктивных элементов новых, более прочных и из более долговечных материалов. Главное — не изменить внешнюю кладку, не погубить живопись, фрески, сохранившиеся остатки облицовки, скульптуры и др. Этот вопрос подробно рассматривается в соответствующем разделе книги. Кроме того, даются и другие очень важные рекомендации, которые отличаются от принятых. До последнего времени считалось, что все работы по инженерной консервации должны вестись только старыми традиционными способами с применением старинных материалов. Эти установки автор считает архаичными и ошибочными. Наоборот, все, что обеспечивает длительное существование памятника, не меняя его внешнего облика, великолепия интерьера, не снижая его архитектурной ценности, и, конечно, не внося ничего нового в его внешнее конструктивное решение, вполне приемлемо, если при этом памятник станет более долговечным. Сказанное подтверждается тем, что применение менее прочных, таких же как и в старину, материалов часто вызывает необходимость повторных реставраций. Есть такие памятники, которые буквально каждые несколько лет требуют укрепления. Автор считает, что его задача сводится не только к тому, чтобы рекомендовать лучшие, прогрессивные способы работы, но и предложить такие материалы, при использовании которых состояние памятника не требовало бы повторных усилений в течение столетий, и тем самым поднять до необходимого уровня искусство инженерной консервации не только разрушающихся, но и руинированных памятников.

Иногда во время реставрации удается обнаружить те или иные следы

древних фром здания. Такие находки нельзя уничтожать, как бы они ни мешали производству работ. Вместе с тем их нельзя и предусмотреть, поэтому разработка рабочего проекта реставрации должна вестись на протяжении всего периода производства работ, и окончание проекта должно совпадать с окончанием реставрации в натуре.

Большие разрушения памятника и невозвратимые утраты редко допускают какую-либо реконструкцию, а тем более полную реставрацию. При инженерной реставрации таких памятников следует ограничиваться необходимым укреплением уцелевших частей. Закрепление сооружения, от которого сохранились только руины, для нас важнее, чем его достройка по аналогии с другими. Эти руины следует считать «священными». И вообще, нельзя воспроизводить любой памятник культуры, если нет достоверных сведений о его первоначальном облике. Основной смысл восстановления памятников заключается в сохранении присущих им художественных достоинств — ведь как писал Н. В. Гоголь: «Архитектура — тоже летопись мира: она говорит тогда, когда уже молчат и песни, и предания, и когда уже ничто не говорит о погибшем народе» [13, с. 88].

Некоторые реставраторы считают, что возведение утраченной неизвестной части памятника допустимо, если без этого нельзя законсервировать сооружение. Однако автор на основании своего опыта не может с этим согласиться, так как любые элементы памятника, если даже они превратились в руины, могут быть укреплены на долгие годы без внесения в памятник необоснованных дополнений.

Атрибуция памятников архитектуры, как правило, подтверждается и сведениями литературных источников. Труды выдающихся ученых и мыслителей представляют несомненную ценность для инженеров, занятых консервацией памятников архитектуры. Без изучения письменных источников нельзя решить многих вопросов, связанных с консервацией, а следовательно, и реставрацией памятника.

Существуют примеры методологически неверного подхода к инженерной реставрации. Один из них — восстановление купола мавзолея XII в. «Момино-хатун» в Нахичевани. Основная часть купола этого мавзолея давно обрушилась. К моменту реставрации сохранились небольшие куски кирпичной кладки в виде зубцов. Если исходить из метода аналогии, то купол должен был иметь вытянутую вверх форму. Сохранившаяся же часть в самом высоком месте, по-видимому, составляла не более $^1/_3$ его высоты. Поскольку высота купола и кривизна его внешней поверхности известны не были, то реставраторы довели кладку до самого высокого зубца, и купол получил вид усеченного конуса, выровненного под одну горизонтальную плоскость. Вид такого незавершенного купола с ровным гладким верхом производит плохое впечатление из-за несоответствия его пропорций памятнику. Если бы реставраторы только укрепили руинированную часть купола, оставив ее нетронутой, то это сохранило бы историко-культурную ценность объекта, его достоверность. Вид как бы отрезанного ножом «куцего» купола безнадежно исказил общий вид памятника (рис. 1). Безусловно, такой метод реставрации недопустим. Однако достроить купол по аналогии, не имея достаточных данных, тоже было бы неправильным. Так, А. Франс считал лженаукой и дурным вкусом все попытки привести памятники к единому типу[1]. Действительно, не следует превращать памятник из оригинального архитектурного произведения в шаблонное.

Дело в том, что каждый памятник обладает индивидуальными чертами, свойственными только ему одному, а значит, имеющими особую ценность. И поэтому недопустимо, если при реставрации эти индивидуальные особенности уничтожаются.

Таким образом, надо считать нежелательным какое-либо восполнение утраченных частей, за исключением тех редких случаев, когда нет никаких сомнений по поводу той или иной детали. Здесь следует согласиться с мнением архит. П. Д. Барановского о том, что размеры и форма кирпича были

[1] France A. Pierre Norieve. Paris, 1899, s. 169.



1. Мавзолей «Момино-хатун». Неправильно реставрировано завершение купола — до высоты сохранившегося зубца кладки

для древнерусского зодчего своеобразным модулем. Он установил, что в допетровских постройках каменщик никогда не дробил кирпич, используя его во всех случаях целиком; только иногда, когда требовался тот или иной профиль архитектурного облома, он стесывал минимальную часть. Это навело П. Д. Барановского на мысль о возможности восстановления срубленных архитектурных деталей по оставшимся в глубине кладки концам кирпичей. Это предположение подтвердилось на примере восстановления первоначальных очертаний древних окон, растесанных в позднейшее время.

Часто приходится укреплять сооружения, имеющие большие разрушения. Для укрепления таких памятников во многих случаях требуется заводить в стены вспомогательные конструкции. Для такой заводки приходится пробивать в стенах проемы и гнезда и тем самым временно увеличивать напряжения в кладке. Чтобы такое ослабление не привело к аварии, рекомендуются разные конструктивные решения.

Примененный впервые автором и полностью оправдавший себя метод сводится к тому, что вводимые временные поддерживающие конструкции должны не только разгрузить опасный участок, но и снизить напряжения в кладке настолько, насколько требуется для производства дальнейших работ. Это необходимо для обеспечения полной безопасности сооружения, особенно в том случае, когда до начала работ по усилению определенного участка требуется предварительная выемка из-под него грунта или уменьшение сечения несущей площади конструкции. Временные поддерживающие конструкции (расчалки, подкосы, стойки, поперечные балки и др.) следует вводить с обязательным предварительным напряжением. Вводимые конструкции должны предупредить увеличение фибровых напряжений после производства работ, связанное с предстоящим ослаблением сечений перегруженных несущих элементов. Пользуясь этим методом, можно вывести памятник из аварийного состояния. Практикой доказано, что любое сооружение, даже если оно продолжает наклоняться или разрушаться, с помощью определенных мероприятий и установки временных поддерживающих конструкций можно вывести из аварийного состояния. В числе этих мероприятий — укрепление ослабленных конструктивных элементов, увеличение несущей способности стен, фундаментов, а при необходимости и выпрямление сооружения.

В советской практике первые работы по подводке фундаментов с применением предварительного напряжения принадлежат автору этой книги. Они связаны со строительством первой очереди московского метрополитена (1933—1935 гг.). Прокладка тоннелей на небольшой глубине и вблизи существующих и в первую очередь охраняемых государством зданий вызвала необходимость заглубления их фундаментов путем подводки под них столбов. Основания столбов должны были располагаться ниже основания тоннелей. Если фундаменты не подводились, то на время производства работ в тоннелях здания поддерживались на одной вертикальной отметке с помощью мощных гидравлических домкратов, т. е. поднимались по мере оседания грунта, подстилающего фундаменты. Все эти здания ни на час не прекращали эксплуатироваться, и жильцы, проживавшие в них, не испытывали каких-либо неудобств.

Автор выражает свою признательность рецензенту проф. А. Н. Попову за его рекомендации по развитию некоторых оригинальных инженерных решений по реставрации памятников архитектуры.

ГЛАВА I

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНИКИ ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСЕРВАЦИИ

Реставратор должен не творить искусство, а подчинять себя искусству прошлого.
Виолле ле Дюк [30]

Процесс разрушения памятников, сохранность которых не обеспечивается специальными мерами, идет неотвратимо. Среди мероприятий, способствующих сохранению памятника, одно из первых мест занимает инженерная консервация.

Инженерная консервация памятника проводится в целях повышения статической устойчивости сооружения; ее следует считать частью реставрации, так как только благодаря сочетанию реставрационных и инженерно-консервационных работ можно сохранить памятник на века. Так, при укреплении стены, частично сохранившей древнюю облицовку, для лучшей сохранности следует ее не только укрепить, но и провести реставрацию облицовки. Такие же меры необходимо принимать и при частичной сохранности покрытия памятника, поскольку без покрытия памятник скорее разрушается. При инженерной консервации укрепляются не только несущие конструкции, но и декоративные детали. Можно, конечно, сочетать инженерную консервацию только с самыми необходимыми реставрационными работами, особенно при ограниченном финансировании, но это можно считать только первоочередной задачей. Во вторую очередь должны быть восстановлены все те элементы, по которым имеются либо очевидные, либо бесспорные данные, но только не по аналогии с другими памятниками того же периода.

История инженерной консервации неотделима от истории реставрации. Чтобы не допускать ошибок, специалисту по инженерной консервации необходимо изучать историю и теорию реставрации. Желательно, чтобы реставратор был архитектором, ученым, опытным конструктором и археологом. Ведь архитектурный памятник должен трактоваться как исторический источник, как научный документ и как надземная археологическая «находка».

Во многих старых поселениях сохранились храмы с древнейшей живописью и скульптурой, всякого рода сооружения, отличающиеся своеобразной кладкой, интересным инженерным замыслом или другими особенностями. К сожалению, таких поселений и инженерных сооружений становится все меньше и меньше. В наше время памятники архитектуры страдают при реконструкции городов. Город, лишенный старинных построек, которые его украшали и способствовали созданию гармоничной застройки, становится безотрадным и даже раздражает. Большую опасность для памятников архитектуры представляет бурное развитие городского транспорта. Для лучшего понимания значимости проблемы сохранения памятников необходимо совершить небольшой экскурс к древнейшим временам.

В старину большинство селений располагалось вблизи рек, поскольку водоемы были наиболее удобными средствами передвижения, доставки товаров. Города обносились крепостными валами и стенами. Когда на территории в пределах валов становилось тесно, застройка распространялась за стенами и валами вдоль радиальных дорог, образуя посады. Древнейшие постройки со временем разрушались, превращаясь в руины. На их местах строились новые здания, а старые предавались забвению. Только с помощью археологических раскопок в наше время обнаруживают остатки фундаментов зданий древнейших времен. Кроме того, и люди зачастую содействовали быстрейшему обветшанию и даже прямому разрушению построек, используя строительные материалы.

В древние времена проблеме сохранения памятников значительного внимания, как правило, не уделялось. Это было связано отчасти и с отсутствием необходимых механизмов, в частности для восстановления в первоначальном виде тяжелых отколовшихся частей сооружения.

Однако уже на рубеже нашей эры предпринимались меры для сохранения отдельных ценных сооружений. На рис. 2 показано, как укрепление контрфорсами храма в окрестностях Рима изменило внешний вид сооружения.

В Передней Азии, например, непригодный к дальнейшей эксплуатации памятник покидался, но его разборка запрещалась, поскольку у мусульман использование остатков памятников было запрещено религиозной традицией.

Большое внимание уделялось памятникам еще в античной Греции. По мере разрушения почитаемые храмы перестраивались. Так, деревянный храм Геры (VI в. до н. э.) в Олимпии был со временем заменен каменным. Павсаний в описании Древней Греции (II в. н. э.) упоминал, что в каменном храме сохранялась дубовая колонна первоначальной постройки.

Интересна «реставрация» Пантеона в Риме, проведенная после пожара 110 г. и затем повторенная в III в. Эта реставрация, судя по сохранившейся в храме надписи, заключавшаяся в «обновлении» сооружения, никакого отношения к научной реставрации не имела, так как памятник был полностью перестроен по новому проекту.

Первое признание не только мемориального, но и художественного значения памятников архитектуры и необходимость их охраны зафиксированы в указе 222 г. императора Алек-



2. Укрепление контрфорсами отколовшихся стен древнего храма «Porta Capena» в окрестностях Рима

сандра Севера. Позднее, в IV в. н. э., византийский император Константин Великий запретил не только разборку древних зданий, но и снятие с них различных деталей. Забота о памятниках архитектуры была изложена в эдикте римского императора Майориана (558 г.) — официальном документе, где впервые признавалась необходимость сохранения памятников архитектуры, так как они не только служат славе города, но и украшают его. В этом эдикте шла речь не об обновлении памятников, а об укреплении их с целью сохранения, т. е. их реставрация должна была производиться не из утилитарных, а из эстетических соображений. Все работы по сохранению памятников велись за счет граждан города Рима. В конце VI в. король остготов Теодорих Великий выделял большие суммы на поддержание архитектурных памятников в Риме и даже создал специальную должность хранителя памятников искусства.

После разгрома Рима и угасания Византии (с IV по IX в.) наступил период деградации, архитектурные памятники не только были преданы забвению, но и сознательно уничтожались. В IX в. при Карле Великом вновь пробудился интерес к памятникам архитектуры.

По данным академика И. Э. Грабаря, монументальное каменное строительство на Руси началось в X в. Вероятно, к этому периоду относятся и первые мероприятия по поддержанию сохранности сооружений. Так, в 1185 г. после пожара был заново отстроен Успенский собор во Владимире. Так же поступали и во всех европейских странах. Как правило, в новую постройку включались сохранившиеся элементы первоначальных зданий. В XV в. архит. В. Д. Ермолину была поручена реставрация Золотых ворот и других объектов во Владимире, чем было продемонстрировано признание значения древних сооружений.

Необходимо отметить, что в XI в. в России при строительстве временных сооружений применяли известковоцемяночные растворы состава 1:1,5 (жирная, маломагнезиальная известь: мелкозернистый песок и цемянка). Причем песка применяли в 2 раза меньше, чем цемянки (цемянка придает раствору прочность и гидравличность). Прочность такого раствора на сжатие составляла 700 Н/см². В сооружениях XII в. для раствора применяли жирную кальциевую известь и наполнитель в пропорции 1 : 3. При этом 1 часть наполнителя составлял песок и 2 части — измельченный туфовый известняк. Прочность этого раствора в сухом состоянии 700—800 Н/см², а в мокром — только до 130 Н/см². В XV в. применяли в крепостных сооружениях Ивангорода маломагнезиальную тощую известь в смеси с кварцево-полевошпатным песком в соотношении 1:2,5. Прочность этого раствора невысока. В XVII в. в том же Ивангороде применяли раствор из такой же извести в смеси с мелкозернистым суглинком состава 1:7 по весу сухого вещества. Прочность этого раствора 80 Н/см². Попадающие включения древесного угля следует считать случайными, как остаток при обжиге извести на древесном угле [44].

В эпоху Возрождения вновь была осознана художественная ценность архитектурных памятников. Во второй половине XV в. в Италии, в Риме, были изданы указы о поддержании архитектурных памятников. Подобное распоряжение было издано в 1571 г. и в провинции Тоскана. В этих документах указывалось на необходимость восстановления художественных особенностей известных с древних времен сооружений. Однако реставрации памятников архитектуры в современном понимании, т. е. возвращения им первоначального вида на основании научных изысканий, еще не существовало. Такое положение продолжалось вплоть до XVIII в. Только отдельным архитектурным памятникам возвращалась их былая красота. Так, в конце XVII в. с большой тщательностью была реставрирована церковь аббатства Сен-Мэксен (Франция) с воспроизведением первоначальных готических деталей. В начале

XVIII в. в России указом Петра I (1722 г.) была предписана охрана и «реставрация» фундаментов башни в Болгарах под Казанью.

С конца XVIII в. после Великой французской революции началась современная эпоха реставрации королевских дворцов, соборов и церквей как памятников истории и культуры, а применявшийся до этого вид реставрации «обновление» был на какое-то время предан забвению.

В эпоху романтизма (XVIII—XIX вв.) понятие реставрации получило своеобразное истолкование реставраторов, которые оставляли памятникам только их мемориальное значение и поэтому видоизменяли их внешний облик, применяя так называемую художественную реставрацию. Во второй половине XVIII в. обнаружилось полное пренебрежение к памятникам архитектуры, вплоть до уничтожения. Однако иногда государство брало их под свою защиту. Так, в конце XVIII в. декретом Национального Конвента во Франции было подтверждено общенародное значение памятников архитектуры. В начале XIX в. в наполеоновскую эпоху памятникам уделялось большое внимание. С возвращением к власти династии Бурбонов (1814—1830 гг.) не только реставрация, но и охрана памятников были преданы забвению. В дальнейшем отношение общества к памятникам менялось с изменением политического и экономического строя.

Большое значение для охраны памятников истории и культуры имели выступления отдельных писателей и художников в защиту памятников архитектуры. Так, В. Гюго в 1832 г. выступил со статьей «Война разрушителям». В пробуждении у французов интереса к своей стране и к ее архитектурным памятником безусловно большую роль сыграл роман Гюго «Собор Парижской богоматери». Важное значение в пропаганде красоты древних памятников имели описания путешествий. К ним относятся, например, «Живописные и романтические путешествия по древней Франции» Тейлора.

В России в начале XIX в. вышло в свет много разных книг с иллюстрациями, посвященных памятникам старины; среди них «Записки о московских достопамятностях» И. М. Карамзина [21]. В первой половине XIX в. Н. В. Гоголь писал: «Красота никогда не бывает так ярка и видна, как в контрасте... Находясь во власти тонкого, высокого вкуса, он первое условие всего и действует равно на всех... Чем более в городе памятников разных видов зодчества, тем он интересней, тем чаще он заставляет осматривать себя, останавливаться с наслаждением на каждом шагу» [13, *с. 77*].

До XIX в. в России основным видом восстановления архитектурных памятников была новостройка, т. е. способ подстановки. Старый памятник разбирался до основания и на его месте возводился новый, на который «переходило» общекультурное и мемориальное значение древнего здания. Примером может служить «восстановление» в середине XVII в. Десятинной церкви X в. в Киеве. Она была разрушена татаро-монгольскими ордами в 1240 г. Эта церковь символизировала расцвет древнерусской культуры и искусства. Вновь построенная церковь своей архитектурой кардинально отличалась от древней: ее построили в новом стиле, приняв во внимание только ее историко-мемориальное значение. В начале XX в. «новая» Десятинная церковь была разрушена и более не восстанавливалась.

Реставрация XIX в., можно сказать, проходила под девизом восстановления преимущественно художественного облика памятника архитектуры. Однако фактические результаты в большинстве случаев были неудовлетворительными. В это время в Англии и Франции древние здания либо разбирались для постройки на их месте новых сооружений, либо подвергались произвольным улучшениям. Часто это делалось с целью их укрепления, поскольку перекладка считалась лучшим для этого средством. В итоге такие действия приводили к серьезным искажениям памятников.

Во второй половине XIX в. вопрос стиля при реставрации приобрел главенствующее значение: мелочи не имеют значения, а стиль — это единственное, что ценно в архитектурных памятниках. Этот способ, использующий метод аналогии, впервые опирался на научные исследования. Если реставратор понял сущность стиля конкретного памятника и научился его воспроизводить, то считалось, что он может восстановить разрушенные элементы в данном памятнике. Следовательно, от реставратора не требовалось выявлять какие-либо конкретные следы, он должен был руководствоваться только своим хорошим знанием стиля определенной эпохи. В этом подходе выявилась разница между реставраторами эпохи романтизма и реставраторами второй половины XIX в. — «стилистами». Она заключалась в том, что романтизм в реставрации использовал метод произвольных компиляций, а «стилисты» проводили предварительные научные исследования и для восстановления недостающих звеньев пользовались аналогами. Последнее обезличивало памятник, превращая его в шаблон. Действительно, копирование, как таковое, противоречит основам искусства.

Только с началом применения научного подхода к восстановлению из больших кусков-фрагментов руинированных памятников археологами совместно с архитекторами и инженерами были разработаны новые способы работ. Такие способы позволили почти полностью восстанавливать художественный облик памятников. Впервые подобные методы реставрации были опробованы в 1810—1813 гг. при восстановлении храма Веспасиана на Римском форуме. При раскопках Помпеи этот

способ сборки из кусков и обломков получил большое распространение. Все обломки и куски раскладываются, определяются места их в сооружении и затем устанавливаются на свои места.

Н. Баланос [46], восстанавливая Пропилеи, одно из замечательных сооружений Афин, сформулировал основные положения метода восстановления памятника из фрагментов, который получил название анастилоза — разновидность аналитического метода Н. Баланос считал правильным не устранять на элементах реставрируемого здания ранее образовавшиеся повреждения, считая их «патиной». После его реставрации остались незаделанными значительные отколы в разных частях памятника, заделка которых не требовалась для его сохранения. В тех же случаях, когда такая заделка требовалась для сохранения всего элемента, Баланос производил необходимые вставки из камня другого цвета. Метод анастилоза использовался главным образом в Греции и Италии.

Научный подход к проблемам реставрации в России обозначился в последней трети XIX в.

В 1894 г., выступая на I съезде русских зодчих, академик Г. И. Котов [22] дал правильное решение вопроса о наслоениях на архитектурных памятниках. Он предложил, чтобы пристройки, менее древние, чем сами памятники, но имеющие хоть какое-нибудь историческое или художественное значение, сохранялись и считал, что не следует добиваться реставрации памятника в его первоначальном виде. Академик П. П. Покрышкин [32]писал, что «уничтожение их (наслоений) может быть допустимо только в тех крайних случаях, когда они непоправимо вредят памятнику в техническом, научном или художественном отношении». Вместе с тем П. П. Покрышкин писал, что вновь вносимые в памятник элементы должны быть отмечены клеймом с годом их изготовления. Он считал, что если памятник теряет свои первоначальные элементы и тем самым общее воздействие его уменьшается, то оставшиеся части вызывают у зрителей большую эмоциональную реакцию, и создаваемое эстетическое впечатление не уменьшается. Однако это не означает, что когда под воздействием атмосферы памятник разрушается, то не требуется вмешательства с целью проведения инженерной консервации и реставрации с тем, чтобы сохранить его в лучшем состоянии на более длительный срок. В соответствии с этим Покрышкин различал: 1) консервацию памятников с минимально необходимой реставрацией; 2) планомерное проведение реставрационных работ; 3) консервацию с полной реставрацией.

В начале XX в. архитектор становится и археологом, он стремится по возможности ничего не менять в реставрируемом здании. Архитектурный памятник рассматривается им не

как художественное произведение, а как «прочтение» научного документа, как исторический источник, и реставрация — как проведение наименее возможного объема ремонтно-восстановительных работ с выделением вновь вносимых элементов. В этом и заключается археологический или, как его еще называют, аналитический метод реставрации. В случаях необходимости укрепления выветрившегося раствора швов кладки П. П. Покрышкин [32], придерживаясь аналитического метода реставрации, предлагал заменять его путем вдавливания в швы более прочного, подобранного по цвету раствора. Он же не менял и поврежденную кладку, имеющую историческое значение, если она не вредила сохранности здания. Археологический метод реставрации и в настоящее время считается наиболее приемлемым и научно обоснованным.

К археологическому методу был отнесен и способ анастилоза, который развился из консервационно-укрепительных работ. Этот способ был одобрен в 1931 г. на конгрессе археологов и реставраторов в Афинах.

В начале XX в. в России началось применение метода анастилоза. Это потребовалось после того, как из-за недопустимого археологического любопытства из-под подошвы фундамента церкви Василия в Овруче был извлечен камень, вследствие чего южная стена церкви рухнула. Затем рухнули столбы храма с опиравшимся на них куполом. Восстановление этой церкви из руинированных элементов было поручено А. В. Щусеву и П. П. Покрышкину. На поверхности земли ими были найдены почти вся упавшая стена и много декоративных элементов здания. Поскольку южная стена падала равномерно, то положение декора на земле соответствовало его первоначальной высоте. Все же нельзя считать, что для восстановления этой церкви был полностью применен способ анастилоза, поскольку часть фрагментов, пролежавших долго в земле, разрушилась, часть фрагментов была разобрана жителями и купол пришлось восстанавливать, прибегая к синтетическому способу реставрации (метод целостной реставрации, применявшийся «стилистами»). Старые кирпичи послужили документальным материалом для восстановления стен из нового кирпича, изготовленного по древним образцам, но другого (белого) цвета. В результате реставрационных работ церковь сохранила свой древний неискаженный облик.

Научные основы реставрации и консервации памятников архитектуры в СССР подробно изложены в работе Е. В. Михайловского «Реставрация памятников архитектуры» [29].

В наши дни способ анастилоза был применен при строительстве гидроэлектростанции на р. Нил [24]. В связи с постройкой Асуанской плотины и образованием водохранилища затапливался созданный 3 тыс. лет тому назад храм Абу-Симбел. Он вырублен в песчаной скале и украшен огромны-

ми вытесанными в той же скале фигурами. Размеры храма в плане составляли 38×63 м при высоте 33 м. Располагаемый над храмом большой холм не представлял собой архитектурной ценности, он являлся только декорацией и поэтому подлежал сносу и воспроизведению заново на новом месте. Чтобы сохранить памятник от затопления, предлагалось несколько вариантов. Основными из них были подъем памятника выше предстоящего уровня воды или перенос памятника на незатапливаемый участок путем предварительной его распиловки на блоки. Был утвержден вариант переноса памятника на расстояние 180 м, где располагался достаточный по размерам участок на 6¼ м выше прежнего. Храм весит 30 тыс. т, его распилили на блоки по 30 т каждый. На новом месте возвели железобетонный каркас и к нему крепились блоки.

После того как памятник был собран, восстановили детали окружающего пейзажа, чтобы храм не утратил своего первоначального облика. Стоимость работ составила до 40 млн. долл. и велась с 1963 по 1967 г.

П. Д. Барановский в 1970 г. на сессии московских реставраторов предложил применить способ, подобный анастилозу, при восстановлении памятника архитектуры XVI в. колокольни Болдинского монастыря. Этот монастырь построен великим русским зодчим Ф. С. Конем. Большое значение Болдинский монастырь имеет и как мемориальный памятник, связанный с историческими событиями — Отечественной войной 1812 г. и Великой Отечественной войной. В 1942 г. во время военных действий Болдинская колокольня была взорвана отступавшими немецко-фашистскими захватчиками.

Возрождение этого замечательного творения Ф. Коня имеет еще большое значение и потому, что колокольня и часть ансамбля, в который входит редчайший памятник древнерусской каменной шатровой архитектуры XVI в., — один из немногих памятников Смоленской области.

Хорошее качество кирпича и раствора колокольни позволило сохранить большое число фрагментов. После произведенного анализа лежащие сверху на высоте 6 м фрагменты получили определенное расположение в колокольне. Основным материалом для восстановления колокольни послужили зарисовки и ее обмеры, проведенные до Великой Отечественной войны П. Д. Барановским. В 1979 г. под его руководством колокольня была собрана наполовину.

Современное состояние строительной техники позволяет консервировать памятники архитектуры на века в основном без применения дополнительных закрепляющих элементов конструкций. Не удается, например, снять со сводов распор без дополнительной установки затяжек. Однако для этих затяжек обычно применяют арматуру сравнительно малого диаметра — 25—40 мм, и если такие затяжки устанавливаются

на высоте, то они почти незаметны. Пока еще не поддаются закреплению на долгие годы слабые малопористые облицовочные материалы, к которым относятся известняки и песчаники. В 1972 г. перед автором этих строк встал вопрос о консервации пещеры, вырытой в горе, сложенной из маловлажных супесей и суглинков. Эта пещера выкопана в V в. до н. э. в Таджикистане на расстоянии около 20 км от г. Ура-Тюбе. Пещера служила убежищем для женщин и детей при нападении вражеских полчищ. В ее покрытии из естественного грунтового свода были обнаружены трещины с протечками, которые начали приводить к отдельным обвалам. Примерно в таком же разрушающемся состоянии находятся в Средней Азии и старинные уникальные постройки, сложенные из сырцовых кирпичей на глиняном растворе. Возведение над такими сооружениями навесов из металла и шифера, как это было предложено сделать в Ура-Тюбе, обезобразит памятники.

Для сохранения таких сооружений целесообразно при глинистых грунтах с коэффициентом пористости 0,5 и более использовать термический способ, основанный на нагнетании горячего воздуха с температурой 600—800°С [23]. Это и было рекомендовано для пещеры Ура-Тюбе. При лессовых грунтах, но с меньшей гарантией за качество и при большей стоимости применим инъекционный способ их закрепления.

Очень часто в зданиях, подвергшихся неравномерным осадкам и вследствие этого получивших трещины, приходится скреплять стены. Такие скрепления при ремонтных работах ведутся путем постановки впритык к ним и вокруг всего здания стального кольца, обычно из швеллеров. Для того чтобы такое кольцо скрепило все стены между собой и удерживалось на определенной высоте, между противоположными стенами пропускают горизонтальные связи из арматурной стали. Такой способ очень хорош, но не для памятников архитектуры, где требуется, чтобы связи не были обозреваемы и располагались внутри стен.

Произведенные по мечети Биби-ханым в Самарканде работы доказали, что в любых каменных стенах можно просверлить круглые каналы диаметром 70—100 мм на любую длину по горизонтали с сравнительно большой точностью (±5 мм на 1 пог. м), вставить туда арматуру, натянуть ее до необходимого напряжения и путем нагнетания в канал раствора закрепить ее.

То же применимо при сооружениях, представляющих собой в плане многоугольник. Барабаны, на которых отсутствует облицовка, можно, как и при ремонтных работах, укреплять снизу и сверху стальными обручами, вставленными в штрабы. Купола правильнее всего укреплять радиальной и кольцевой арматурой, располагаемой под или над кирпичной

кладкой. При расположении арматуры снизу ее прикрепляют скобами из некорродирующегося металла к кладке и затем способом торкретирования покрывают слоем цементного раствора. Иногда бывает целесообразно сделать поверх купола железобетонную оболочку. Благодаря монолитности такой оболочки в ней отсутствуют швы — благоприятные участки для растений, и такая оболочка долговечна.

Основываясь на опыте работ по реставрации памятников архитектуры, необходимо отметить, что, как правило, первоначальный проект реставрации изменяется.

Даже при новом строительстве, когда имеется подробный проект, строителям часто приходится обращаться к автору проекта для решения вопросов, связанных с местными условиями. При реставрации в зависимости от выявленных по ходу работ ранее не обнаруженных деталей в проект приходится вносить подчас коренные изменения. Такие случаи при инженерной консервации очень часты и поэтому на подобных работах автор проекта должен неотлучно находиться на объекте. Это приводит к тому, что автор проекта должен исполнять обязанности и производителя работ.

Далеко не всякое сооружение следует полностью восстанавливать. Известно, что методический совет АН СССР под председательством академика И. Э. Грабаря в 1944 г. принял решение о том, чтобы памятники из руин не восстанавливать [15]. Это надо понимать так, что новостройка не заменяет ранее существовавший памятник. Если же памятник может быть восстановлен по сохранившимся отдельным фрагментам и имеющимся обмерам, то только при этих условиях и в зависимости от значимости памятника может быть принято и соответствующее решение.

В заключение следует сказать, что техника строительства и внешний вид применяемых в настоящее время строительных материалов имеют совершенно иные прочностные показатели, габариты, форму и цвет, чем в предшествующие эпохи. Поэтому не следует возводить рядом со старыми, представляющими определенную эпоху зданиями, сооружения в ином стиле и материале. Необходимо избегать произвольного и слишком энергичного вмешательства в судьбу древнего произведения. Не может быть терпимо добавление к памятнику и восстановление уничтоженного при отсутствии научно обоснованных данных. Однако, если нам достоверно известны утраты, вызванные наслоениями, то по согласованию с Научно-методическим советом по охране памятников Министерства культуры СССР их можно удалить и тем самым придать памятнику историческую правдивость. Если же достоверных данных нет, то наслоения убирать не следует, особенно в том случае, если они увеличивают его долговечность.

ГЛАВА II
ПРИЧИНЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАЗРУШЕНИЕ ПАМЯТНИКОВ

Опыт учит медленно ценой ошибок Фруд.
В предисловии Брюса Уайта к книге Ролт Хэммонд «Аварии зданий и сооружений».

Разрушение сооружений происходит вследствие грунтовых условий, подземных вод, атмосферных осадков, климата, плохого качества строительных работ, несоответствия примененных материалов, а также под воздействием окружающей среды и людей. Часто несвоевременный мелкий ремонт может в дальнейшем потребовать больших затрат на реставрацию.

Причины образующихся повреждений определяются по тем или иным симптомам, как правило, с помощью расчетов, а чаще всего на основании личного опыта специалиста. Определения, не подтвержденные расчетом, зачастую оспариваются, так как они не всегда могут быть теоретически обоснованными.

В данной главе рассматриваются основные и наиболее характерные повреждения и даются подтвержденные опытом обоснования причин их образования. Своевременно организованное наблюдение за деформациями значительно облегчает в дальнейшем правильный выбор способа инженерного укрепления реставрируемого сооружения.

Следует отметить, что внимательное изучение деформаций в конструкциях может дать богатый материал уже в период предварительного осмотра технического состояния памятника. Так, при первичном осмотре наличие трещин свидетельствует о разрушении или разрыве кладки.

По местным обрушениям, образовавшимся трещинам, направлениям последних и степени их раскрытия можно судить о вероятном месте осадки кладки или отклонении стены, отдельного участка стены от смежных конструкций. Наклонные трещины в стенах, как правило, бывают парными, определяя место просадки кладки. Это уже дает возможность определить, какие части здания (сооружения) затронуты деформациями.

Ниже рассматриваются основные причины, вызывающие разрушение памятников, а также основные мероприятия, обеспечивающие правильный уход за различными сооружениями.

1. **Неправильная эксплуатация и несвоевременный ремонт.** Вода — первоисточник всех органических и физико-химических процессов, вызывает разрушения материалов, из которых

сделан памятник. Под воздействием биологических организмов (плесени, грибков, водорослей, а иногда кустарников и деревьев, пускающих корни в швах кладки) происходит разрушение деревянных конструкций, раствора и камня. Переход воды из одного агрегатного состояния в другое может вызвать разбухание, разрыхление, отслоение от кладки штукатурки или облицовки, шелушение и распыление красочного слоя. Главным злом для живописи является капиллярная вода, поднимающаяся с основания вверх по стенам.

Немалое влияние на разрушение, в том числе и живописи, оказывает образование конденсата, т. е. превращения паров воздуха в мельчайшие капельки воды в результате охлаждения воздуха и осаждения влаги на внутренних поверхностях стен, пилонов, перекрытий в неотапливаемых зданиях. Это приводит к насыщению влагой несущих элементов конструкций. При насыщении каменных стен водой происходит значительное снижение их несущей способности, увеличение теплопроводности стен, растворение и кристаллизация солей, а также развитие биологических форм. Повышение температуры с внутренней стороны влажных каменных стен приводит к их высыханию, и кристаллизации солей не происходит.

Отсутствие достаточных теплозащитных свойств металлических переплетов окон служит причиной образования на них обильного конденсата, который, стекая по оконному заполнению и далее по стенам, увлажняет и разрушает штукатурку. настенную живопись и т. д.

Установлено, что проветривание неотапливаемых зданий следует производить в сухую погоду, не допуская образования конденсата от соприкосновения влажного воздуха с более холодными стенами внутри помещения.

Вентиляцию же подпольных пространств следует производить при помощи сквозного проветривания через продухи с ранней весны до осени. Вентиляцию чердаков следует производить периодически сквозным проветриванием через слуховые окна в благоприятную погоду. Для обеспечения вентиляции помещений с монументальной росписью запрещается их загромождать различными предметами (например, приспосабливать под склады), что затрудняет свободную циркуляцию воздуха.

В отапливаемых и неотапливаемых памятниках температура чердачного помещения не должна отличаться от температуры внешнего воздуха. Скопление людей в неотапливаемых памятниках, имеющих уникальные росписи, в осенне-зимнее время и ранней весной может допускаться только во время проветривания помещений.

Проф. К. Ф. Фокин [43] констатирует, что в неотапливаемых зданиях колебания температуры внутри здания отстают от колебаний наружного воздуха примерно на один месяц.

Для установления времени проветривания неотапливаемого помещения он рекомендует определять влагосодержание и точку росы внутри памятника и вне его. Для указанных измерений Фокин рекомендует пользоваться волосяным гигрометром и термометром для воздуха и поверхности стен, укрепляемыми на пластилине. Если точка росы снаружи выше, чем внутри, то проветривать нельзя, если же ниже, т. е. влагосодержание наружного воздуха небольшое, то проветривать можно.

Академик П. П. Покрышкин считает, что проветривание неотапливаемых помещений следует производить так же, как проветривание погребов, в которых хранится порох. Он же рекомендует следующий практический способ, определяющий допустимость проветривания. После некоторого по времени пребывания пустой бутылки внутри помещения ее выносят на воздух, и если она покрывается конденсатом, то проветривать помещение нельзя.

Практикой установлено, что в те часы, когда разница между внешней и внутренней температурой имеет перепад более 3°С или при относительной влажности наружного воздуха более 70%, окна и двери открывать нельзя. Практически это означает, что окна и двери нельзя открывать в пасмурную погоду, при сильном таянии снега и во время дождей. Необходимо учитывать, что, чем выше температура, тем может быть выше абсолютная влажность воздуха. С наступлением теплых дней длительность проветривания должна нарастать. При проветривании помещений, где имеется настенная роспись, следует избегать сквозняков. Относительная влажность воздуха внутри помещений должна поддерживаться не выше 70%.

В отдельных случаях реставраторы, стремясь осушить памятник, только ухудшают температурно-влажностный режим. Так поступили в Самарканде при реставрации знаменитого мавзолея Гур-Эмир. Через 13 лет непрерывных реставрационных работ на памятнике обнаружилось, что они велись неправильно. Так, его купол был покрыт полиэтиленовой пленкой, так как считалось, что основная причина разрушения — орошение атмосферными осадками. В действительности это явление вызвало обратную реакцию, поскольку насыщение купола происходило вследствие капиллярного натяжения влаги со стен памятника, а уложенная сверху купола пленка превратила его из паропроницаемой конструкции в паронепроницаемую. Все это привело к утрате орнаментального декора мавзолея. Пришлось констатировать, что реставрация интерьера велась без предварительного налаживания температурно-влажностного режима, и именно по этой причине спустя 26 лет после начала реставрационных работ произошли отслоения новой реставрационной штукатурки, а в поясе надписей появились отслоения площадью более 1 м² с осыпанием новой позолоты.

Такое же положение, только в меньших масштабах, сложилось в Троицком соборе Троице-Гледенского монастыря в Великом Устюге. Здесь реставрация также ведется без общего плана необходимых мероприятий по установлению температурно-влажностного режима.

Большое влияние на увлажнение стен оказывают повреждения, образовавшиеся в облицовке. При несвоевременном ремонте облицовки на ее верхней поверхности и с тыльной стороны задерживаются атмосферные осадки, которые проникают внутрь стены и при замерзании накопившейся в ней воды приводят к дальнейшим разрушениям. Известно, что при замерзании вода увеличивается в объеме на 9% и при полном насыщении водой пористый камень любой прочности раскалывается. Время, необходимое для данного вида разрушения, зависит от частоты фазовых переходов из талого состояния в морозное, водонасыщения капилляров и их размеров.

Широкое применение паро- и воздухонепроницаемых материалов приводит к увеличению влажности. Например, сплошное асфальтирование территории и устройство полов из цемента, метлахской плитки и пластика, масляная покраска стен и покрытий здания препятствуют осушке естественной вентиляцией и вызывают увлажнение стен. Иначе говоря, материалы, лишенные пор, препятствуют вентиляции и осаждают на себя влагу (потеют).

Наглядным примером недопустимости покрытия поверхности грунта может служить доска, положенная на грунт. Ночью, после жаркого летнего дня, когда температура доски становится ниже температуры грунта, поднимающийся от грунта более теплый воздух, имеющий большую абсолютную влажность, конденсирует на остывшей тыльной стороне доски капельки воды. В этом легко убедиться, если перевернуть доску. Еще больший конденсат образуется, если вместо доски — паропроницаемого материала, положить на грунт паронепроницаемый — бетон. Следовательно, чтобы в зданиях не образовался конденсат, должна работать вытяжная вентиляция. В каменных постройках Москвы XVI и XVII вв. часто наряду с печами устраивались и камины, служившие и для вентиляции. Оптимальным случаем эксплуатации отапливаемых зданий надо считать применение кондиционирования воздуха, с помощью которого можно соблюдать требуемый температурно-влажностный режим и таким образом сохранять монументальную, станковую живопись и фрески на века.

2. **Хозяйственная деятельность человека, пожары и военные действия.** Часто люди нарушают естественное, сложившееся веками природное равновесие, что может повлечь за собой эрозию почвы и как следствие — разрушение той части кладки памятника, которая расположена у поверхности земли. К таким видам человеческой деятельности относятся вырубка леса, прокладка каналов и др. Еще более тяжелые последствия вызывает повышение уровня грунтовых вод. Надо иметь в виду, что многие виды грунтов (мелкие пески и тем более глины) при насыщении водой резко теряют свою несущую способность, подвергаются вспучиванию и морозному пучению. При повышении грунтовых вод происходит загнивание деревянных свай, которые в старину часто применялись для уплотнения грунта при возведении фундаментов.

В отдельных случаях, когда в связи с устройством плотин памятники затапливаются, их распиливают на отдельные элементы, переносят на другое место и собирают заново.

Строительство плотины на Зап. Двине угрожало затоплением расположенным около Риги руинам храма XII в. и фундаментам замка в Икшкиле. Автор предложил поднять на 12 м и подвести под эти руины и фундаменты основание из железобетонного каркаса, создав своеобразный остров, и устроить причал для экскурсионных судов.

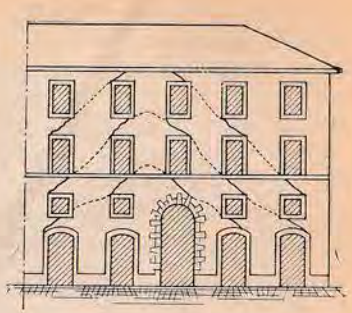
Пожары, возникавшие главным образом при военных действиях и при неосторожном обращении с огнем, привели к тому, что сохранились только отдельные памятники деревянного зодчества.

Непоправимый урон памятникам истории и культуры был нанесен в период Великой Отечественной войны. Так, академик И. Грабарь писал: «Никогда мир не был свидетелем таких чудовищных разрушений памятников культуры, какие учинены фашистскими захватчиками на территории СССР... они производились преднамеренно, планомерно, по прямому предписанию Гитлера... Пострадали: Склеп Деметры, знаменитая Пятницкая церковь в Чернигове, которая в изобразительном искусстве так же широко национальна как «Слово о полку Игореве» в поэзии того времени. Много церквей было разрушено в Новгороде, Пскове, архитектурные сокровища Нового Иерусалима, дворцово-парковый ансамбль Петродворца, архитектурные ансамбли городов: Пушкина, Павловска, Гатчины, Елагинский дворец, Гагаринский особняк в Москве, мавзолей Барышниковых в Николо-Погорелом, дом Черноголовых в Риге и много, много других».[1]

3. **Пренебрежение фактическим распределением напряжений и неравномерностью увлажнения оснований.** Замечено, что в длинных крепостных стенах, в сооружениях, имеющих в плане форму удлиненного прямоугольника, наибольшую осадку получают средние части длинных стен. Действительно, если подстилающие грунты по всей длине одной стены, сложенной из одних и тех же материалов и с одной площадью сечения, имеют сравнительно одинаковые физико-механические свойства, а осадки и

[1] Памятники искусства, разрушенные немецкими захватчиками. М., АН СССР, 1948.





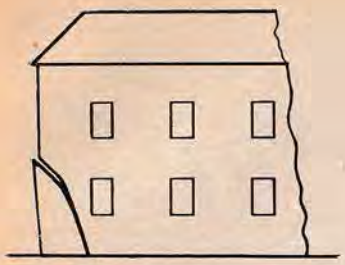
3 | 3 | 4 | 5

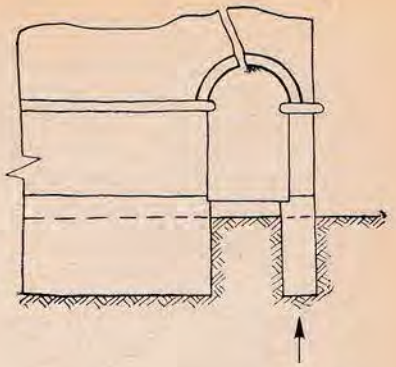
3. Средняя часть длинной фасадной стены здания получила наибольшую осадку. Слева — горное училище в Мехико-сити; справа — дворец Конти в Риме

4. Трещина при осадке угла

5. Трещина от пучения грунта основания при замерзании. Пучением поднята стена неотапливаемой части здания

напряжения в основании близки к нормативным, то повреждения здесь может вызвать фактическое распределение напряжений в основании. Установлено, что на угловых участках нагрузка распределяется по большей площади, распространяясь вперед за пределы конца стены. Следовательно, концы стен, получая большую площадь опоры, имеют и меньшую осадку (рис. 3) К сожалению, среди строителей бытует такое мнение, что, наоборот, чаще всего садятся углы, а не середина стены. Но это вызывается другой причиной. Обычно приспособления для стока атмосферных осадков устраивают на углах здания в соответствии со строением крыш. Поэтому вода с крыш стекает к углам здания и, просачиваясь в грунт, резко уменьшает несущую способность большинства мелкозернистых и тем более глинистых грунтов, вследствие чего увеличивается осадка угловых частей здания. Это положение усугубляется тем, что водосточные трубы, расположенные по углам, часто дают течи, а иногда и вовсе нуждаются в замене. При глинистых грунтах основания увлажнение вызывает отрыв нижней части кладки угла зданий (рис. 4). Такой частичный отрыв только нижней части





угла здания объясняется тем, что над трещинами отрыва образуется как бы арка, перераспределяющая нагрузку на смежные участки основания, не подвергающиеся сильному увлажнению.

4. **Воздействия от морозного пучения**. Если в пучинистых грунтах глубина заложения фундаментов меньше глубины промерзания, то стена, грунты под которой подверглись замораживанию, поднимается. Дело в том, что при одинаковой глубине заложения фундаментов под всеми стенами здания наибольшая глубина промерзания бывает с северной и открытой сторон улицы (а не со двора), где охлаждение сильнее. При соответствующем насыщении грунта водой при замораживании грунт увеличивается в объеме и поднимает стену. В этих случаях наклонные трещины появляются и в поперечных стенах, причем величина трещины кверху увеличивается (рис. 5). Часто с южной стороны при солнечной погоде в начале зимы глубина промерзания бывает меньше. Весной с солнечной стороны оттаивание идет быстрее. Если же под подошвой фундамента залегают глинистые грунты, которые в зимний период благодаря миграции воды снизу вверх в сторону промерзания насыщались водой, а весной оттаяли и перешли в текучепластичное состояние, то они теряют значительную часть своей несущей способности, и южная стена, как раньше оттаявшая, отрываясь от других, начинает садиться. В этих случаях вертикальные трещины чаще всего появляются вдоль примыкания поперечных стен. Последнее объясняется тем, что основание под внутренними стенами в отапливаемом помещении не промерзало и грунты под ними не насыщались водой.

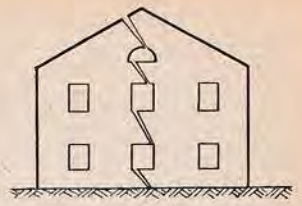
Иногда подъем стены происходит и при смерзании грунта с боковой поверхностью фундамента, но это обычно имеет место в малоэтажных зданиях. Это случается с приделами (реже с абсидами благодаря кривизне их стен и большей поверхности сцепления с основной стеной), где нагрузка на подошву меньше сил сцепления от смерзания грунта с внешней поверхностью фундамента.

Изгиб стены внутрь от воздействия пучения примыкающего к ней грунта происходит редко, так как стены старых сооружений имеют, как правило, большую толщину и тем самым хорошо сопротивляются изгибу.

5. **Образование деформаций в стенах здания, построенного на вспучивающихся глинах.** Известно, что глинистые минералы иллитовой группы и тем более монтмориллонитовой группы и их разновидность — бентонит имеют подвижную кристаллическую решетку, способную легко раздвигаться при проникании молекул воды. Так, после постройки Волжской ГЭС из-за значительного повышения перед плотиной уровня воды и ее разлива на значительной территории образовался большой водоем и произошел подъем грунтовых вод на примыкающей к нему территории. На расстоянии почти 1 км от водоема грунты представляли собой бентонитовые шоколадного цвета глины, которые через 1,5 года после постройки плотины стали насыщаться водой и неравномерно поднимать здания. Менее нагруженные части зданий поднимались выше более нагруженных. Установить причину разрушения от вспучивающихся глин позволил детальный осмотр зданий. Было обращено внимание на то, что середина пола бесподвального первого этажа, лежащего непосредственно на грунте, оказалась значительно приподнята по отношению к краям пола, примыкавшим к стенам. Для борьбы с этим было предложено устроить вокруг здания глубокий кольцевой дренаж с отводом воды на пониженный участок, расположенный с противоположной стороны от водоема.

6. **Неравномерные осадки**. Строительными правилами нормируются осадки с расчетом, чтобы даже при их максимальной неравномерности эксплуатацию здания можно было бы продолжить. В старину здание, как правило, основывалось на одной вертикальной отметке, но очень часто рвы или дно котлована до одинаковых грунтов не зачищались. Иногда ниже поверхности земли вместо каменных фундаментов сначала впритык один к другому устанавливались дубовые столбы, а уже на них велась каменная кладка. Обычно считалось целесообразным предварительно уплотнять грунт забивкой коротких, длиной до 2 м, дубовых свай, а уже на них возводить каменную кладку. Забивка свай носила название «частока». Однако со временем дерево загнивало и здания начинали садиться. Такое положение особенно характерно для мощных культурных напластований. Ранее строителям не было известно, что дерево, расположенное выше уровня грунтовых вод, загнивает. Если сначала дерево представляет собой плотный, твердый и довольно прочный материал, то со временем, находясь в грунте, выше уровня грунтовых вод, оно начинает загнивать и занимаемое им место превращается в полость, заполненную газом. Например, по этой причине произошла неравномерная осадка башни в Болонье (Италия) (рис. 6).





7. Трещины показывают на осадку левой половины здания

6. Наклонная башня в Болонье. XII в.

Поскольку культурные напластования имеют разную толщину и содержат в себе строительный мусор, в том числе и органические примеси, то со временем они уплотняются боше там, где толще слой и где больше органических примесей. Вместе с тем благодаря большой толщине стен и наличию в них металлических связей, происходит более или менее равномерное оседание всего здания, которое иногда получает небольшой, визуально незаметный наклон. Однако по прошествии многих столетий, когда неравномерность осадки значительно увеличивается, часто под дополнительным воздействием распора от сводов, здание посередине, вдоль шелыги свода, раскалывается на две половины. Из сводов начинают выпадать кирпичи, и без принятия соответствующих мер приходится прекратить его эксплуатацию.

Так произошло с Успенским собором в Рязани, построенным Я. Бухвостовым. В этом соборе из-за преобладающей осадки южной продольной стены в отдельных местах разорвались металлические затяжки и в крестовых сводах покрытия образовались небольшие трещины. Ограниченный размер трещин объясняется пластичностью известкового раствора, на котором были сложены своды.

В старину, как правило, насыпные грунты с большим количеством органических примесей, имея разный по толщине слой, вычищались только до определенной вертикальной отметки, оставаясь под частью здания. Обычно это имело место на тех участках, где еще до начала строительства выравнива-

лась территория или засыпался ров. Вот почему над этим участком чаще всего оказывались только отдельные ограждающие или угловые части или какая-то его угловая часть, которая отрывалась от остального массива и давала большую осадку. По направлению трещин почти всегда можно определить участок здания, который дал большую осадку. На рис. 7 показаны характерные трещины в каменных кладках.

Следует отметить, что не всегда по расположению трещин можно определить места просадок. Это объясняется тем, что наличие в стенах памятника металлических связей несколько уменьшает наклон трещин и, следовательно, затрудняет установление истинных причин образования просадок.

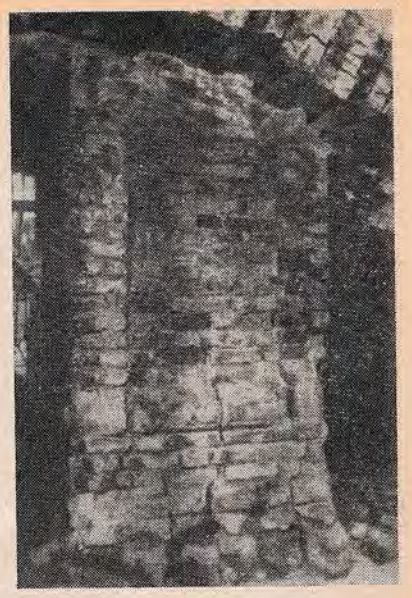
7. **Близкое расположение водоемов и влияние рельефа местности.** Грунтовые воды, постоянно стекающие в водоем в одном направлении, выносят из-под фундамента памятника, расположенного на участке направления движения воды, мельчайшие частицы грунта. Такого рода явления, как правило, вызывают отколы ближайших к водоему участков здания или крен всего памятника. Из-за изменения в расположении центра тяжести сооружения по отношению к центру основания происходит одностороннее увеличение фибровых напряжений. Это может привести к местным перенапряжениям со всеми вытекающими последствиями. Например, по этой причине происходит неравномерная осадка Пизанской башни (грунтовые воды текут в сторону р. Арно) и др.

Разрушения усугубляются, если фибровые участки каменной кладки, получающие увеличенные напряжения, еще и увлажняются. Дело в том, что чем слабее раствор и кладка и чем они более влагоемки и сильнее увлажнены, тем больше теряет кладка свою несущую способность. Так, нижние пилоны звонницы в Вяземах (Московская обл.) (рис. 8) с открытым гульбищем над ними (рис. 9), насыщаясь атмосферной влагой и подвергаясь увеличивающимся напряжениям в связи с образовавшимся в сторону водоема креном, стали под воздействием морозов быстро разрушаться.

Чтобы предупредить вынос частиц грунта из-под фундаментов, целесообразно с повышенной и боковых сторон памятника устроить дренаж, который будет препятствовать движению грунтовых вод сквозь основание памятника. Так был запроектирован отвод грунтовых вод от звонницы церкви в Вяземах. Учитывая, что устройство такого дренажа не предусматривалось сметой на ближайшие годы, при выпрямлении звонницы ей был специально придан небольшой крен в противоположную наклону сторону. По-видимому, через 75—100 лет звонница, получив смещение в сторону пруда, встанет вертикально, после чего обязательно потребуется устройство указанного дренажа.

То же самое происходит с памятниками, расположенными на участках, подверженных оползням. Оползни представляют со-

8. Звонница церкви в Больших Вземах. Пилон звонницы до реставрации



бой смещения с последующим обрушением земляных масс под воздействием их собственного веса, нередко от приложения дополнительных сил (гидродинамического давления, грунтовых вод, инерционных сейсмических сил, взрывов, сотрясения от транспорта, ударов морских или речных волн и др.). Оползень образуется при наличии в склоне слабой прослойки, совпадающей с поверхностью скольжения. Известно наличие оползневых участков на береговых склонах, на которых расположены памятники. Оползни береговых склонов всегда причиняли существенный материальный ущерб. Существует серьезная проблема сохранения многих памятников, которые в свое время строились на высоких берегах водоемов. Так, летописцы XVI в. писали: «На версту поверх монастыря на горе оказалась расселина великая, а монастырь стоял в полугоре и начала гора осыпаться со зрелым хлебом и бысть шум и треск велик от лесу и нападе на людей страх и ужасть велика и прошла оная гора под монастырь землею и вышла в Волгу-реку и оказалась буграми» [26]. Примерно в то же время в Киеве произошел частичный обвал высокого берега Днепра и вместе с ним обрушилась стена ограды, считавшаяся чудом строительного искусства, несколько зданий и часть Михайловской церкви Выдубицкого монастыря, основанного в 1070 г.

Неустойчивость крутых склонов может проявляться в виде обрушений со срезом и вращением, пологих склонов—в виде соскальзывания (скольжения), а пологих склонов из четвертич-



9. Звонница и гульбище до реставрации

ных отложений — покровных оползней. В последних часто сползает вся масса грунта целиком, в виде монолита без внутренних перемещений. Вместе с тем при большой толщине слоя покровного оползня в концевом его языке возможно образование обрушения со срезом и вращением. Покровные оползни по своей форме разнообразны и весьма распространены. Данные по основным случаям нарушения устойчивости склонов приведены в табл. I.

Памятники, расположенные на оползневых участках, получают слабонаклонные, почти вертикальные и всегда увеличива-

Таблица 1. **Основные случаи нарушения устойчивости склонов** [26]

Форма обрушения	Природное состояние	Скорость деформации
Срез и вращение вокруг горизонтальной оси	Крутой откос преимущественно однородного сложения	Большая — до нескольких метров в минуту
Скольжение по наклонной плоскости правильной геометрической формы	Слоистое строение толщи коренных пород с наклоном в сторону склона, наличие грунтовых вод	От малой до нескольких метров в минуту
Покровные оползни на пологих неровных склонах без внутренних перемещений масс	Обильно увлажняемые грунты с общим падением в сторону склона	От нескольких сантиметров до нескольких метров в сутки

ющиеся кверху трещины. Этими трещинами здание как бы разделяется на отдельные секции, и их верх смещается в сторону течения грунтовых вод. Если сооружение, располагаясь параллельно оврагу, имеет небольшую протяженность, то оно начинает наклоняться целиком — без расчленения трещинами на отдельные участки. В этом случае здание движется целиком вместе с откосом, на котором оно расположено.

Наличие оползней можно определить по «пьяным» деревьям, расположенным между зданием и берегом, наклоненным в сторону реки; по появлению на асфальте вокруг здания хорошо видимых трещин, параллельных берегу.

Во всех случаях необходимо произвести исследование грунтов буровыми скважинами. Скважины следует располагать между берегом и сооружением и не менее чем по одной с каждой стороны здания. Часто оползни образуются после обильного увлажнения грунта во время таяния снега или продолжительных дождей из-за резкого увлажнения и увеличения массы выше лежащего грунта.

После того как будет установлена причина оползня, можно принять меры и предупредить дальнейшие оползневые явления. Прогрессирующая ползучесть чаще всего связана с падением прочности глинистых грунтов (перехода из пластичного состояния в текучее) в результате их увлажнения атмосферными осадками. То же относится и к пылеватым грунтам (в том числе и супесям), когда при их увлажнении они разрыхляются и теряют свою связность, приобретая свойства плывунов. Эти грунты, подвергаясь фильтрационному давлению проходящей через них на поверхность грунтовой воды, вытекают из толщи, вызывая оползни. Таким образом, образование оползней происходит при уменьшении сил сопротивления или при увеличении активных сдвигающих сил, а также при одновременном воздействии обоих факторов.

8. **Увлажнение просадочных грунтов.** Часто в сооружениях, основанных на грунтах с неустойчивой структурой — лессовидных (макропористых) или неравномерно сжимаемых, возникают деформации. Как известно, особенность лессовых грунтов заключается в их просадочности при замачивании. Источниками замачивания обычно бывают атмосферные осадки, просачивающиеся в грунт при отсутствии должной планировки и протечке трубопроводов. Так, северо-восточный наклон минарета медресе Улугбека в Самарканде из-за стока к нему атмосферных осадков со сравнительно большой площади резко увеличился в северо-восточном направлении.

В заповеднике Хивы находится более 50 каменных памятников архитектуры. Территория заповедника имеет грунтовую поверхность, вертикальная планировка территории не проводилась. Водостоки отсутствуют. В 1966 г. были проложены трубы водопровода и канализации. Поблизости от засыпанных траншей образовались местные просадки, указывающие на наличие утечек из уложенных магистралей. Это еще усугубилось ливнем 11 апреля 1969 г. Вскоре в стенах многих памятников образовались трещины. Так, в мавзолее Уч-Овлия, представляющем собой навес, огражденный с трех сторон каменными стенами, по середине продольной стены образовалась вертикальная трещина, расколовшая навес на две половины. В стенах медресе Кутлуг Мурад-Инак после ливня образовалось много близких к вертикали трещин. Так, в восточной стене размер трещины вверху составил 48 мм, а в северной стене — до 27 мм. Большие сквозные трещины образовались на той же восточной стене медресе как в первом, так и во втором этажах, где располагаются аркады с худжерами (кельями). То же, по центру арок в крайних северо-восточных худжерах. Трещины образовались и в купольных покрытиях над первым и вторым этажами в тех же северо-восточных участках. Эти трещины отделили от стены гульдосту (угловая башенка). Кроме того, произошел крен гульдосты в сторону стены медресе Таш-Хаули, расположенной в 4 м. Это неполный перечень повреждений в памятниках Хивы, возникших из-за протечек уложенных магистралей и усугубленных сильным ливнем.

Много лет подвергалось неравномерным осадкам знаменитое здание Оперного театра в Одессе, расположенное на подстилающих просадочных лессовых грунтах. После инъекции в грунт под подошву фундамента жидкого стекла в течение нескольких лет осадки еще продолжались[1]. О возможных случаях применения силикатизации, в том числе и в лессовых грунтах, см. гл. V.

9. **Вибрации от сейсмических воздействий, проходящих поблизости поездов и тяжелых автомашин.** Совершенно бесспорным в этом случае является образование вертикальных трещин между частями сооружения, имеющими разную жесткость, в том числе: отделение вертикальными трещинами мест примыкания широкого здания к узкой пристройке. Если здание имеет сложную конфигурацию в плане, то происходит отделение вертикальными трещинами тех частей, которые составляют как бы самостоятельную форму (стремление каждого блока к независимым колебаниям); наличие в толстых стенах больших, расположенных по одной вертикали проемов вызывает трещины по линиям этих проемов; подстилающие фундамент слабые грунты благодаря их насыщенности водой и тем более культурные напластования вызывают разделение вертикальными и косыми трещинами отдельных стен между собой из-за увеличивающихся в таких грунтах амплитуд колебаний при землетрясениях.

Расположение поблизости от памятников транспортных проездов создает при прохождении транспорта, особенно рельсового, сильную вибрацию. Если к тому же в сооружении имеются разные по жесткости участки, то как и при землетрясении могут образоваться трещины на том участке здания, где резко изменяется жесткость.

10. **Различные причины образования горизонтальных и вертикальных трещин.** Появление в кладке горизонтальных разрывов, т. е. трещин, проходящих в основном в одном горизонтальном шве кладки, указывает на большие осадки нижележащих конструкций. Для ликвидации подобных разрывов ограничиваются забивкой в трещину на определенном расстоянии друг от друга стальных клиньев с последующей зачеканкой трещины между клиньями цементным раствором.

Следует отметить случаи появления горизонтальных трещин и разрывов в кладке контрфорсов. Такие явления свидетельствуют не об аварийном состоянии основных конструкций здания, а о том, что контрфорс не только не поддерживает примыкающую конструкцию, а своей нагрузкой дает дополнительную осадку основанию. Так, контрфорсы у западной стены Кирилловской церкви в Киеве имеют горизонтальные разрывы на высоте около 80 см от поверхности грунта. Это говорит о том, что нижняя часть контрфорсов просела, а верхняя высотой до 10 м держится на стене. Нижняя часть контрфорсов у Ивановской башни кремля в Горьком оторвалась и осела с образованием горизонтальной трещины, а ее верхняя часть вместо того, чтобы сдерживать башню от горизонтального смещения, повисла на ней.

Наличие часто расположенных небольших вертикальных трещин показывает, что несущая способность кладки меньше, чем приходящаяся на нее нагрузка. Вскоре после образования таких трещин происходят обрушения. При установлении наличия таких повреждений необходимо принять срочные меры по

[1] Работы велись по проекту и под руководством проф. В. В. Асколонова.

разгрузке данных участков кладки. Для временного закрепления применяют в основном подкосы, разгружающие стены, или стойки, снимающие нагрузку с перекрытий. В дальнейшем заделывают трещины (рис. 10), и в такую слабую кладку инъектируют цементное молоко, чем значительно увеличивают ее несущую способность.

11. **Влияние коррозии металлических креплений на образование повреждений.** Это в основном относится к разрушению облицовочных камней, прикрепленных к стенам стальными скобами. Под влиянием увлажнения камней облицовки из пористых материалов металлические крепления, не будучи защищены определенной толщиной цементного (а не известкового и еще хуже алебастрового) раствора, начинают коррозировать.



10. Стена Потешного дворца в Московском Кремле, закрепленная с помощью инъектирования цементно-известкового молока. Видны ранее образовавшиеся вертикальные трещины, которые могли бы привести к обрушению

Продукты коррозии, увеличиваясь в объеме, расклинивают — отталкивают куски камней облицовки.

То же может иметь место под влиянием коррозии связей, расположенных внутри кирпичных стен, пилонов, белокаменных колонн с металлическим стержнем в центре сечения, при интенсивных протечках кровли.

12. **Потеря несущей способности связей.** В старину для связи стен между собой применяли подтоварник. Однако со временем под влиянием увлажнения капиллярными водами эти связи загнивали. Так, в храме Болдинского монастыря еще задолго до Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. образовались большие сквозные трещины в шатре, причем деформированная кладка выпячивалась из общей плоскости до 18 см. Храм находился в аварийном состоянии. Причиной этого, как доказал П. Д. Барановский, было исчезновение деревянных связей, в три ряда опоясывавших некогда памятник. Эти связи либо сгнили, либо сгорели в одном из пожаров. Необходимо было ввести новые связи. Однако для ввода деревянных связей потребовалась бы пробивка уширенных штраб в храме, и так находящемся в аварийном состоянии. Исходя из этого, П. Д. Барановский предложил расчистить старые каналы сверлением с торцов вдоль стен, ввести в них стальные связи и заполнить старые каналы раствором. Здесь необходимо отметить, что первоначально высказывались опасения по поводу последствий от разности коэффициентов линейных расширений древних и новых материалов, но поскольку это предложение поддержали специалисты-теплотехники, то его апробировали. На практике этот ранее не применявшийся метод оказался весьма целесообразным.

13. **Влияние атмосферных осадков.** За последние годы в атмосферных осадках резко возросло содержание летучих соединений серы. Газы, основу которых составляют двуокись серы и серный ангидрид, образующиеся от сгорания угля, нефти, мазута, брикетов, горючего газа при металлургических, коксохимических и других процессах, а также выхлопные газы автотранспорта, насыщают воздух.

Соединения серы вступают в реакцию с водой, образуя сильные кислоты, которые ускоряют разрушение различных материалов. Особенно быстро разрушаются известняки.

14. **Изменения в памятниках, вызываемые пристройками.** Имеют место случаи, когда в четвериках деревянных рубленых зданий выпучиваются углы [31]. Обычно это связано с позднейшей вырубкой в одной из стен высокого проема для прохода в прируб. Образование «брюшка» еще усугубляется тем, что вновь пробитый в сплошной стене проем обычно не обрамляется коробкой. Угол такого здания по высоте проема оказывается не скрепленным с противоположной стеной, а наличие в срубе хотя бы небольшой внецентренности от вертикаль-

старого раствора, и, во-вторых, внешне резко отличается по цвету, уродуя памятник.

Инъектирование цементно-известкого молока в швы и трещины ведется в два приема с помощью специального инъекционного насоса. Сначала раствор делают более жидким В:Ц=1:0,7, затем 1:1. В обоих случаях добавляется 20—30% извести-пушонки. При широких трещинах количество цемента удваивается. В сухие стены добавляют белокаменную пыль (10—30%), а в сырые — цемянку из кирпича, растертую до фракций, проходящих через сито 1000 отв/см^2, инъекционный раствор процеживают через сетку с отверстиями 1—1,5 мм.

Для инъектирования в кирпичной стене перфоратором или электродрелью просверливают отверстия диаметром 25 мм на расстоянии 0,5—0,75 м одно от другого на глубину $^2/_3$ толщины стены. В них вставляют водогазопроводные трубки диаметром 15 мм. Место выхода открытого конца трубки из стены заделывается алебастром на глубину 8—10 см. После нагнетания молока трубку извлекают, а оставшееся отверстие заделывают раствором в цвет и фактуру кладки.

Если раствор кладки стены настолько разрушился, что цементное молоко начинает вытекать из швов кладки, то все швы по всей площади укрепляемой стены заблаговременно тщательно заделывают. Для этого сначала вычищают старый раствор, протаскивая по швам между кирпичами скарпель с лопаточкой шириной 8 мм на конце (диаметр скарпели 5 мм) до глубины в 10 см.

Заделка швов должна вестись аккуратно без замазывания кирпича, камня. Швы необходимо заделывать способом чеканки полусухим раствором, состоящим из извести (тесто) 0,25 части, серого цемента 1 часть, песка 3 части, цемянки 2 части, окиси хрома в количестве, необходимом для получения соответствующего цвета, и железного сурика для тонировки.

Для механизированной заделки швов используют такой же, но пластичный смешанный раствор, песок в нем заменен размолотой в порошок цемянкой, и применяют инъекционный насос с плоским наконечником типа брандспойта. При небольших плоскостях заделки швов раствор накладывают на сокол, а с него заталкивают в швы. Для такой заделки швов применяют деревянную чеканку — доску толщиной (по всей длине) на 2 мм менее толщины шва, шириной 20 см и общей длиной 30 см.

Путем нагнетания в стену упрочняющего состава можно хорошо укрепить разрушающуюся кладку. Однако и после такого укрепления стены не следует устраивать под ней шахту для подводки фундаментов. С целью предупреждения осадок здания и возможного обрушения при сооружении шахты непосредственно под стеной, желательно заблаговременно снять с основания нагрузку с помощью заводки сквозь стену попе-

Продукты коррозии, увеличиваясь в объеме, расклинивают — отталкивают куски камней облицовки.

То же может иметь место под влиянием коррозии связей, расположенных внутри кирпичных стен, пилонов, белокаменных колонн с металлическим стержнем в центре сечения, при интенсивных протечках кровли.

12. **Потеря несущей способности связей.** В старину для связи стен между собой применяли подтоварник. Однако со временем под влиянием увлажнения капиллярными водами эти связи загнивали. Так, в храме Болдинского монастыря еще задолго до Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. образовались большие сквозные трещины в шатре, причем деформированная кладка выпячивалась из общей плоскости до 18 см. Храм находился в аварийном состоянии. Причиной этого, как доказал П. Д. Барановский, было исчезновение деревянных связей, в три ряда опоясывавших некогда памятник. Эти связи либо сгнили, либо сгорели в одном из пожаров. Необходимо было ввести новые связи. Однако для ввода деревянных связей потребовалась бы пробивка уширенных штраб в храме, и так находящемся в аварийном состоянии. Исходя из этого, П. Д. Барановский предложил расчистить старые каналы сверлением с торцов вдоль стен, ввести в них стальные связи и заполнить старые каналы раствором. Здесь необходимо отметить, что первоначально высказывались опасения по поводу последствий от разности коэффициентов линейных расширений древних и новых материалов, но поскольку это предложение поддержали специалисты-теплотехники, то его апробировали. На практике этот ранее не применявшийся метод оказался весьма целесообразным.

13. **Влияние атмосферных осадков.** За последние годы в атмосферных осадках резко возросло содержание летучих соединений серы. Газы, основу которых составляют двуокись серы и серный ангидрид, образующиеся от сгорания угля, нефти, мазута, брикетов, горючего газа при металлургических, коксохимических и других процессах, а также выхлопные газы автотранспорта, насыщают воздух.

Соединения серы вступают в реакцию с водой, образуя сильные кислоты, которые ускоряют разрушение различных материалов. Особенно быстро разрушаются известняки.

14. **Изменения в памятниках, вызываемые пристройками.** Имеют место случаи, когда в четвериках деревянных рубленых зданий выпучиваются углы [31]. Обычно это связано с позднейшей вырубкой в одной из стен высокого проема для прохода в прируб. Образование «брюшка» еще усугубляется тем, что вновь пробитый в сплошной стене проем обычно не обрамляется коробкой. Угол такого здания по высоте проема оказывается не скрепленным с противоположной стеной, а наличие в срубе хотя бы небольшой внецентренности от вертикаль-

ной нагрузки вызывает смещение бревен в горизонтальном направлении. При отсутствии коробки в проеме и шпонок между бревнами смещаются с вертикали и примыкающие к этому углу бревна.

Так, к западной стене четверика рубленой Ильинской церкви Краснобаковского района Горьковской обл., построенной в XVIII в., спустя сто лет после пристройки прирубили трапезную. Концы бревен трапезной с южной и северной сторон заходили впритык к западной стене церкви и упирались с боков в выступающие концы (остатки) бревен тех же южной и северной стен церкви, рубленных в «обло». Для увеличения площади церкви устроили высокий и широкий проем из церкви в трапезную, который соединил оба помещения в одно общее. При этом оказались убранными и шпонки, скрепляющие бревна этой стены сруба между собой, а связи между противоположными стенами нарушены по высоте сруба. К тому же под фундаментом этого угла церкви производились еще и захоронения, вследствие чего угол дал большую дополнительную осадку. Все эти вместе взятые обстоятельства: устройство высокого проема в стене, бревна которого оказались между собой не скрепленными шпонками или брусчатой коробкой, и захоронения — вызвали смещение бревен из вертикальной плоскости стены с образованием в углу большого «брюшка» по высоте проема в южной и западной стенах нижнего четверика церкви. По этой причине вся церковь получила наклон в юго-западном направлении.

Чтобы вывести церковь из аварийного состояния, со стороны, противоположной крену, установили тросовые оттяжки, а под выпучившийся угол — подкосы. В дальнейшем потребуется поднять осевший юго-западный угол домкратами, установленными под концы поперечины, пропущенной под этим же углом церкви: в южной стене эта поперечина должна проходить под оконным проемом, а в западной — под проемом прохода в трапезную. После вывешивания угла нужно будет укрепить фундаменты, поддерживающие угол этой стены, и выровнять выпучившиеся венцы установкой в обоих углах парных вертикальных сжимов из брусьев.

Выше приведено большинство причин, вызывающих образование деформаций в сооружениях. В практике известны и другие, но единичные причины неравномерных осадок, например: образование глубинных карстов при наличии над ними грунтов с коэффициентом фильтрации более 0,5 м в сутки; устройство поблизости от памятника глубокого колодца в плывунах и др. Какие в таких случаях принять меры, нельзя установить без подробного обследования памятника. Обычно решение зависит от местных условий, конструкций сооружения и размеров повреждений. Так, при больших по площади глубинных карстах легче свести «на нет» увеличение трещин. Для этого требуется отвод атмосферных осадков со всего карстового участка и замоноличивание здания. В этом случае, чтобы не испортить внешнего облика постройки, ко всем стенам с внутренней стороны прикладываются дополнительные железобетонные стены (здесь предполагается, что сила сцепления бетона со старыми стенами обеспечивает их совместную работу). Высота прикладки должна быть не менее ширины здания, а при широком здании, не менее $^2/_3$ его длины. Толщину прикладываемых стен определяют расчетом исходя из того, чтобы при осадке любого участка сооружение оставалось монолитным. Можно укрепить карсты и от дальнейшего размывания. Для этого хорошо сначала их осушить, а потом инъектировать в них цементный раствор или горячий битум.

В настоящее время по проекту и под руководством автора ведутся экспериментальные работы по подводке вдавливаемых свай под здание, расположенное на карстовых грунтах.

Периодически, не реже одного раза в два года, желательно производить детальный осмотр конструкций. Все замеченные неисправности и дефекты вносятся в акт с указанием сроков исправления. Одновременно должна производиться очистка конструкций от пыли, птичьего помета и других загрязнений.

Преждевременным разрушениям способствует и применение недостаточно прочных конструкций: кладка фундаментов из малопрочных камней под залив, несовершенная конструкция кровли, а иногда и рискованная конструкция тяжелых сводчатых покрытий. Отсутствие в древности соответствующих инженерных расчетов не могло не отразиться на прочности сооружений. Это часто влекло за собой разборку или перестройку архитектурных памятников. С точки зрения инженерной консервации, проще закрепить на века памятник архитектуры, в котором сохранились, хотя и получили деформации, покрытия и стены, чем руины, открытые атмосферным осадкам.

Искусство инженерной консервации памятника архитектуры заключается в том, чтобы, укрепив его на века, не изменить первозданных пропорций, сохранить параметры конструктивных элементов, оригинальность форм и идейное содержание произведения.

ГЛАВА III

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ И СПОСОБЫ ФИКСАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО СОСТОЯНИЯ ПАМЯТНИКА

Данные, полученные из архитектурного памятника Иль-де-Франс, не могут быть использованы для реставрации здания в Шампани или Бургундии.

Виолле ле Дюк [30]

Работу по инженерной консервации памятников следует начинать с ознакомления с имеющимися литературными и архивными материалами и с определения научно-художественного значения сооружения. Наряду с этим необходимо ознакомиться

с ранее выполненной разведкой на соседних участках, проходящими поблизости коммуникациями, особенно сетями водопровода и канализации. Наиболее показательным следует считать весеннее время, когда грунтовые воды имеют наивысший уровень и интенсивность увлажнения кладки наибольшая.

Осмотр сооружения начинают с детального обследования его внешнего состояния. Эта работа должна вестись инженером совместно с архитектором и желательно в присутствии археолога. Порядок осмотра памятника, особенно находящегося в аварийном состоянии, имеет большое значение. Известны случаи, когда во время осмотра происходили обрушения, повлекшие за собой человеческие жертвы. Это особенно важно учесть при осмотре памятника, имеющего сводчатые перекрытия.

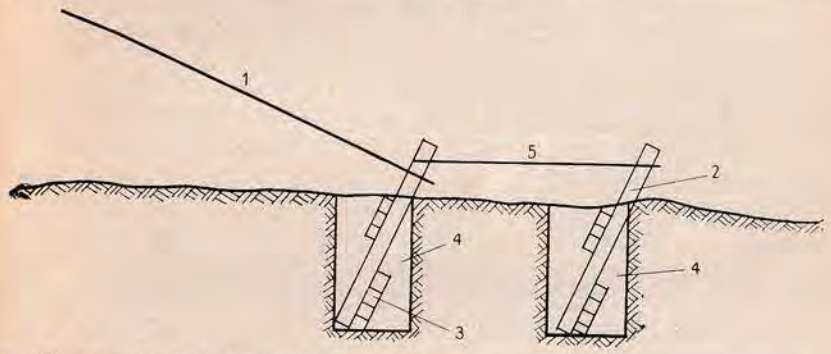
Освидетельствование рекомендуется начинать с какого-либо внешнего угла и визуально устанавливать его вертикальность путем осмотра с одной и другой стороны. Далее проверяют прямолинейность и вертикальность примыкающих к этому углу стен. Если обнаруживают пучения стены на каком-либо участке, то примерно от центра выпуклой поверхности опускают отвес и определяют размеры смещения по высоте.

На обнаруженные высокорасположенные трещины с внешней стороны устанавливают гипсовые маяки. Для их установки в стене поперек трещины, а при их наклоне до 45° к горизонтали вдоль швов кладки пробивают штрабу высотой не менее чем один ряд кирпича. Глубина штрабы должна быть не менее 0,25 кирпича, а длина с каждой стороны трещины — не менее 12 см. В эту штрабу на гипсовом растворе устанавливают готовый, ранее отлитый в форме маяк. Бумажных маяков ставить не рекомендуется, так как бумага при увлажнении может удлиниться, а высыхая — порваться. Маяки в виде отдельных мазков из алебастра или цементного раствора по кирпичу и тем более по штукатурке также не рекомендуются. Это объясняется тем, что при намазке на плохо очищенную поверхность или на слабый раствор штукатурки маяк может с ней должным образом не скрепиться и между ними образуется почти незаметный просвет. Обычно, если взять такой маяк-нашлепку за край, то он сравнительно легко отрывается от стены. Можно сделать маяки по месту путем заполнения штрабы алебастром, но в этом случае следует сначала убедиться в наличии указанной глубины штрабы, т. е. сначала пробить штрабу, после чего залить ее алебастром. Все маяки нумеруются, и на каждом из них указывается дата установки. Осмотренная стена зарисовывается с указанием мест поставленных маяков и всех обнаруженных дефектов.

Таким образом, освидетельствуются все стены сооружения со всех внешних сторон. Внешний осмотр заканчивают после того, как будет установлено, что памятник не имеет повреждений,

могущих вызвать какие-либо обрушения. Очень часто такие подтверждения можно получить только после проверки расчетом сомнительных участков. Так, при пучении простенков их проверяют на внецентренность нагрузки и при необходимости с поверхности земли устанавливают деревянный подкос. При наличии трещин в арках проемов необходимо принять меры против вывалов из них отдельных кирпичей. Как временная мера здесь может быть рекомендована установка кружал, поддерживаемых стойками.

После такого обследования всех внешних плоскостей наружных стен, установки маяков и необходимых креплений можно перейти к внутреннему осмотру всех помещений. Здесь необходимо добавить, что в случае визуального обнаружения крена, необходимо еще установить и геодезическое наблюдение за его развитием. Если будет установлено прогрессирование крена, то необходимо в срочном порядке принять меры, которые могут приостановить дальнейший наклон. Проще всего применить оттяжки. Во-первых, они очень эффективны для разгрузки основания со стороны крена и, во-вторых, могут быть быстро установлены. Для анкеров этих оттяжек в грунт закапывают отдельные столбы (рис. 11). Что же касается привязки оттяжек к



11. Парные анкеры для привязки троса, поддерживающего памятник от падения

1 — оттяжка; *2* — анкер; *3* — шпалы; *4* — бетон; *5* — трос

сооружению вверху, то здесь все зависит от конфигурации и конструкции сооружения. Так, для колокольни целесообразно использовать тросовые оттяжки, обернув тросом ярус звона на уровне (или чуть ниже) пола (рис. 12). Можно тросовыми оттяжками поддерживать и отколовшиеся стены церкви. Во всех случаях трос должен прижиматься к каменным частям сооружения через деревянные прокладки. Трос, сминая эти прокладки, распределит силу прижатия на большую площадь в каменной кладке и тем самым предотвратит смятие кирпича и порчу троса.

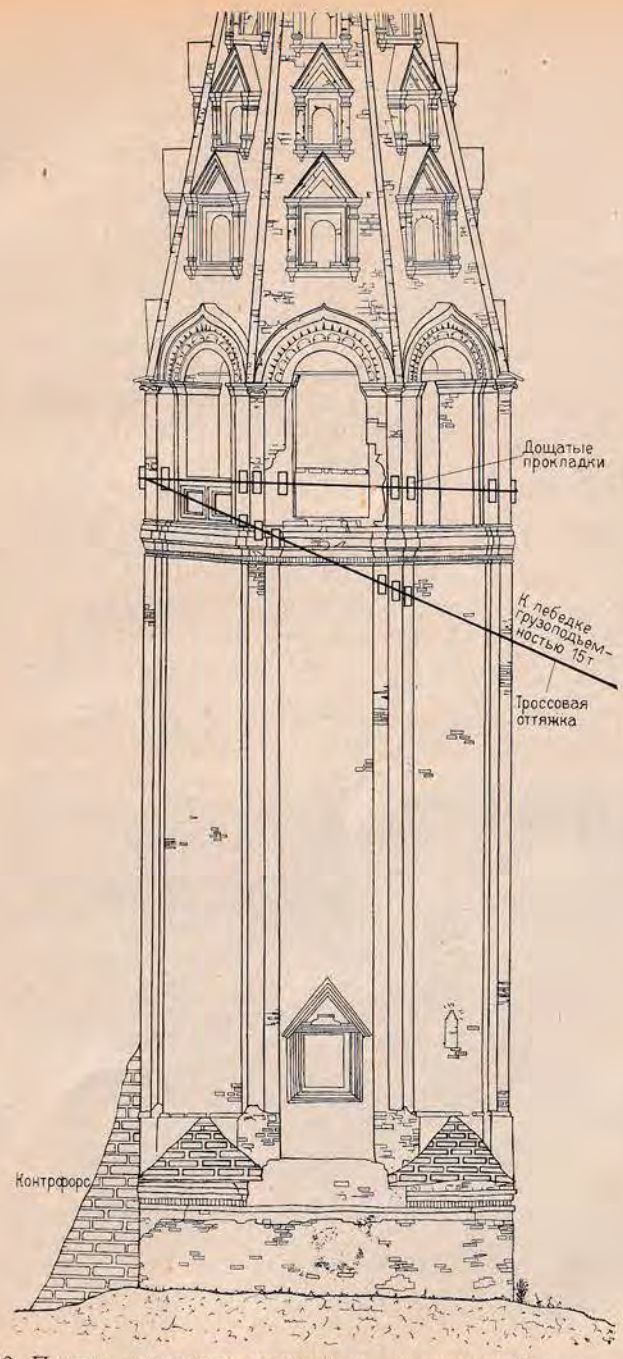
Анкеры из обрезков двутавровых балок, вставленные в приямки с наклоном в 90° к приложенной силе и забетонированные, могут согласно расчету выдерживать горизонтальное усилие в 5 т и более. Чем выше прикреплены оттяжки к поддерживаемому сооружению, тем значительней удерживающий момент.

Все тросовые оттяжки должны устанавливаться с необходимым предварительным напряжением. Их можно натягивать лебедками, которые одновременно являются и анкерами (скрепленными с последними), или стяжными муфтами (рис. 13). Образующиеся в оттяжках напряжения устанавливаются тензометрами. Вместо тросовых оттяжек часто применяют подкосы (рис. 14). Подкосы также должны устанавливаться с предварительным напряжением. Для этой цели подкос прижимается снизу домкратом, а для того чтобы он не смещался вверх вдоль стены, в шов кладки вставляют упорный уголок. Только после полного окончания осмотра всех внешних плоскостей наружных стен, установки при необходимости маяков, оттяжек, подкосов и других временных поддерживающих конструкций и организации геодезических наблюдений переходят к осмотру внутренних помещений.

Осмотр следует начинать с чердака, затем спускаться вниз. В церквах, построенных до XVIII в., чтобы подняться на чердак, требуется сначала пройти через помещение церкви в левый клирос, где обычно расположена лестница наверх. Следовательно, безотносительно к тому, в какой последовательности следует вести осмотр, приходится пройти всю церковь, вход в которую обычно с паперти.

Во входном проеме в первую очередь необходимо осмотреть верхнюю перемычку, с тем чтобы установить наличие в ней трещин. Только при наличии одной волосной трещины можно считать, что непосредственной опасности еще нет. При наличии более чем одной волосной трещины и тем более большой трещины необходимо закрепить кладку над проемом установкой кружал со стойками. Дело в том, что кирпичи начинают вываливаться из перемычки после образования не менее чем двух волосных трещин, тогда как при наличии одной волосной трещины ни один кирпич еще не отделяется от остальной кладки. При одной большой трещине даже при небольшом сотрясении может вывалиться часть перемычки.

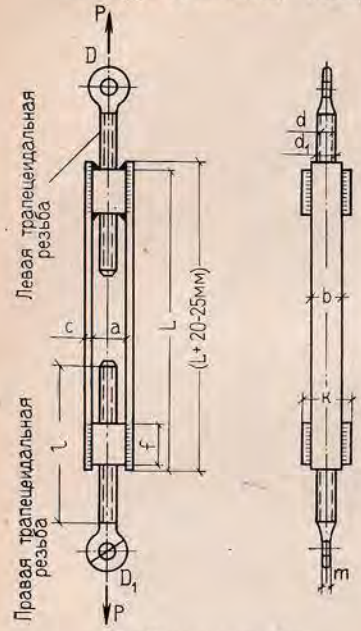
Пройдя входной проем, следует тщательно осмотреть перекрытие. В сводчатых перекрытиях очень опасны трещины вдоль шелыги свода. Это говорит о том, что свод удерживается от падения только сцеплением кладки в ее пяте, а это очень ненадежно, и такой деформированный свод может в любой момент обрушиться. Дальнейший осмотр должен быть продолжен, как было сказано выше, только после установки под сводом



12. Проект крепления оттяжками отклонившейся колокольни Никольской церкви в Солигаличе

кружал со стойками или после полной заделки трещин путем набивки в нее раствора.

Автору довелось обнаружить такие трещины в крестовом своде при осмотре Покровского собора в Троице-Сергиевой лавре. В одном месте из шелыги свода вывалилось несколько кирпичей. Образование этих трещин объясняется большей осадкой двух из имеющихся четырех пилонов и в связи с этим уменьшением стрелы подъема свода. С уменьшением стрелы подъема сила распора резко увеличивается, а следовательно, безотносительно к образовавшимся трещинам возрастает опасность обрушения свода. Внутри Покровского собора установили трубчатые леса с подмостями и для временной поддержки от вывала отдельных кирпичей на коротких участках заполнили трещину снизу полусухим смешанным раствором.



13. Стяжная муфта

Чтобы правильно укрепить свод, необходимо обнаружить трещину сверху и забить в нее стальные


14. Подкос пространственной конструкции, установленный к наклонившемуся сооружению

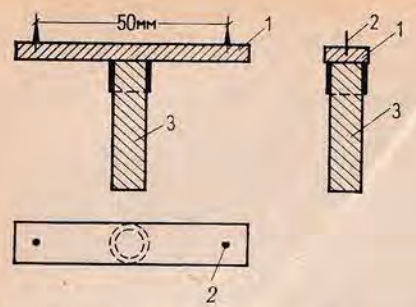
клинья. Однако при забивке клиньев следует вести наблюдение за горизонтальным смещением стен, на которые эти своды опираются. Эти смещения, как правило, не появляются, так как в стенах на уровне пят сводов обычно бывают уложены связи.

Ввиду того, что в Покровском соборе Троице-Сергиевой лавры трещина сверху свода не просматривалась, снизу вдоль трещины через каждые 0,75—1 м забили сквозь всю толщину свода стальные прутья диаметром 3—5 мм. Вверху вдоль пробитых стержней, зная направление трещины, ее расчистили и через каждые 0,5 м в вертикальные швы на глубину 5 см вставили клинья. Забивку стальных клиньев сверху в трещину свода вели поочередно несильными ударами для образования минимальной по размерам щели, в которую можно залить смешанный раствор. После увеличения трещины ее сверху промыли, а снизу по методу чеканки набили в нее полусухой смешанный раствор, добавляя в виде отдельных прослоек паклю. Паклю с раствором предварительно смешивать нельзя, так как пакля собирается в ком. После этого сверху в трещины между клиньями залили смешанный раствор и, как понятно, клинья не убрали.

Поскольку в Покровском соборе трещина в своде образовалась из-за осадки двух пилонов, то укрепление свода в таком случае только полумера. Необходимо еще укрепить и основание, в котором под подошвой залегают насыпные грунты с органическими примесями слоем толщиной до 2 м. Ранее забитые под пилонами дубовые сваи сгнили. Кроме того, необходимо проверить с помощью расчета напряжения в основании под пилонами и стенами. Очень часто напряжения в основании под пилонами превышают в несколько раз напряжения в основании под стенами. Необходимо также учесть, что чем больше площадь подошвы, тем при тех же напряжениях меньше осадка. Неравномерности осадок пят сводов обычно вызывают разрывы в затяжках и их смещения по отношению к горизонтали. Только описанные выше мероприятия по укреплению сводов Покровского собора, а также устройство подмостей дали возможность с безопасностью для жизни войти в помещение и подняться из левого клироса на чердак.

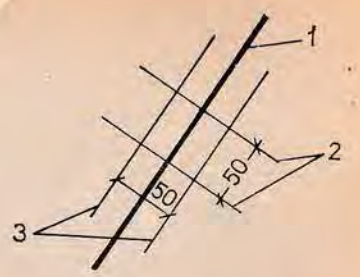
При осмотре чердака выявляют просветы в кровле, а следовательно, и места протечек. Наличие гнили в деревянных элементах устанавливают с помощью стамески. Здесь же детально осматривают верха всех капитальных стен. Иногда сверху в стенах обнаруживают старые трещины, которые ниже (в стенах церкви) были заделаны, но на чердаке сохранились. При осмотре чердака зарисовывают или фотографируют все основные деформированные элементы и устанавливают в опасных местах временные крепления.

Следует при этом иметь в виду, что новая свежая штукатурка может скрыть ранее образовавшуюся большую трещину



15. Прибор для устройства маяков в виде царапин, нанесенных на стене в трех проекциях

1 — планка; *2* — патефонные иголки; *3* — ручка



16. Маяк из царапин

1 — трещина; *2* — царапины, нормальные к трещине; *3* — царапины, параллельные трещине

в кладке, маскируя ее ничтожной, почти волосной трещиной. Для такой проверки следует снять полосу штукатурки поперек трещины. Если будет установлено наличие за штукатуркой больших по размеру трещин, то это говорит о продолжающихся деформациях кладки и о скорости роста трещины. Имеют место, конечно, и случаи, свидетельствующие о затухании деформаций, когда трещина перестает прогрессировать. Тем более снятие слоя новой штукатурки позволит установить действительные деформации. Иногда же, когда трещина проходит по швам кладки, сложенной на слабом (разрыхляющемся) известковом растворе, при отсутствии штукатурки ее можно не увидеть.

Внутри помещений на доступной осмотру высоте нежелательно пробивать штрабы и устанавливать гипсовые маяки. Здесь рекомендуется другой тип маяка. К стальной пластинке приваривают на точном расстоянии, скажем 50 мм, две патефонные иголки (рис. 15). Если вдоль и поперек трещины процарапать стены этими иголками (рис. 16), то с увеличением трещины увеличивается расстояние между линиями. Осадка части стены сразу становится заметной по сдвижке вниз линий, располагаемых под трещиной.

Чтобы зафиксировать начало и конец трещины, у ее границ по штукатурке или по кладке проводят карандашом линии нормально к трещине; вследствие этого дальнейшее распространение трещины сразу становится заметным. Такие линии, нанесенные простым карандашом в нескольких местах у каждой трещины, незаметны для посторонних и не портят декора сооружения.

На больших высотах и в ответственных конструкциях этот тип маяка следует заменить гипсовым и вести за ним наблюдение снизу при помощи бинокля. Следовательно, наблюдение за маяками не требует установки лестниц и замеров, так как увеличение трещины в конструкции становится заметным по трещине на маяке.

Ненадежны маяки из двух материалов, имеющих разные коэффициенты линейных расширений, поэтому не рекомендуется ставить маяки из гипса вместе со стеклом[1] непосредственно на трещине.

Для наблюдений за трещинами на живописи, где недопустима пробивка гнезда для установки гипсового маяка, рекомендуется маяк из одной стеклянной круглого сечения палочки, изогнутой по форме буквы «П». Обе вертикали этой буквы вставляются в просверленные дыры. Диаметр дыры должен быть 3—4 мм, чтобы палочка плотно в него входила. Такой маяк не портит живописи, внешне почти не обозреваем, а при увеличении трещины — ломается.

Обнаруженные от ранее примыкавших конструкций следы должны фиксироваться. Особое внимание следует уделить древней живописи и остаткам облицовки. Последние обнаруживаются при аккуратной отеске части обнаруженного следа. В результате обследования должна быть сделана подробная фиксация существующего состояния в основном несущих конструктивных элементов, облицовки, скульптуры и живописи памятника.

Для определения несущей способности кладки в отдельных местах производят зондажи и извлекают отдельные кирпичи и куски раствора, определяют их нормативное сопротивление на сжатие, а значит, и марку кладки.

Кроме того, подсчетом нагрузок определяют в несущих конструкциях фактические напряжения. Марку кладки сравнивают с фактическими напряжениями в конструкциях, определенных расчетом. Если фактические напряжения превышают расчетные сопротивления более чем в 1,5 раза, то необходимо решить вопрос о способе усиления несущей способности кладки.

Шурфованием устанавливают глубину заложения фундаментов, состояние, материалы кладки и ширину их подошвы, а также характер подстилающих грунтов. Обычно для каждого одинакового по конструкциям и высоте несущего элемента памятника устраивают один шурф. Для этого сначала с боковой стороны до подошвы фундамента выкапывают шурф-форшахту размерами 1,25×1,25 м. После этого определяют ширину подошвы. В глинистых грунтах для этого под подошвой прокапывают канал от 0,4×0,4 до 0,6×0,6 м (в зависимости от ширины подошвы). В песчаных грунтах после устройства шурфа до подошвы определение ширины фундамента производится посте-

[1] Стекло в зависимости от химического состава может иметь коэффициент линейного расширения от $5{,}5 \cdot 10^{-7}$ до $150 \cdot 10^{-7}$.

пенным шурованием грунта под ним путем вращения прута, имеющего на конце небольшой отгиб в виде кочерги. Поперечное сечение фундамента зарисовывают и вычерчивают в масштабе. Шурфование должно вестись при обязательном присутствии археолога.

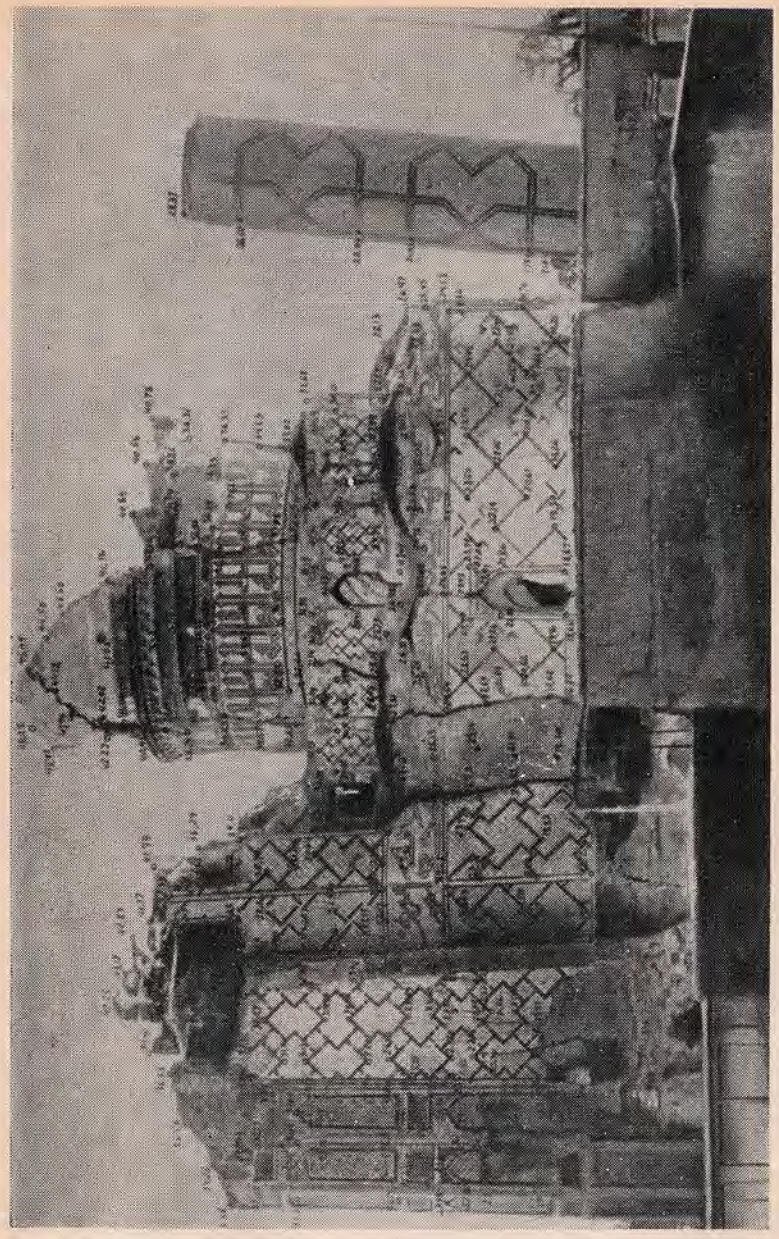
Если в памятнике обнаруживаются осадочные деформации (трещины от неравномерной осадки, крены), то нельзя ограничиваться данными по грунтам, полученными из скважин, от близрасположенных сооружений. В этом случае требуются детальные инженерно-геологические и гидрогеологические исследования. Глубина первой скважины зависит от подстилающих грунтов и от наличия данных ранее пробуренных поблизости скважин. При толстом насыпном слое глубина скважины, как правило, должна быть не менее 15 м. Желательно пройти скважиной до таких грунтов, которые могут считаться надежным материком для данного сооружения. Глубину других скважин определяют при установлении отметки материка.

Все грунты, взятые из скважин и шурфов, должны быть классифицированы на основании следующих физико-механических свойств, для чего устанавливают: гранулометрический состав песчаных грунтов или консистенцию глинистых грунтов; объемную массу в естественном и высушенном состоянии; степень влажности; коэффициент пористости; угол внутреннего трения; компрессионные данные, т. е. величину осадок и просадок. На основе полученных данных определяют нормативное давление на основание. Сравнивая эти данные с расчетными — фактическими напряжениями под подошвой фундамента — устанавливают наличие соответствия между ними. Если фактические напряжения более чем в 1,3 раза превышают нормативное давление на основание, то необходимо запроектировать соответствующее усиление фундаментов.

После изучения памятника, его детального осмотра с описанием применявшихся лесоматериала, кирпича, камня и раствора и получения данных о подстилающих грунтах при наличии в нем трещин приступают к определению причин их образования.

Если поверх старой штукатурки наносились новые слои, то наряду с установлением роста трещин необходимо еще проверить наличие стеновой живописи. Подлежат ли удалению позднейшие наслоения, решается в зависимости от их художественного значения.

Каждую внешнюю поверхность памятника фотографируют с помощью фототеодолита. Для этих целей пользуются фотопленками размером от 13×18 до 30×40 см. На полученных фотографиях надписывают тушью вертикальные (нивелировочные) отметки поверхности земли, дверных и других проемов, отдельных характерных выступов и самых верхних отметок. На рис. 17 дана фотография восточного фасада главной мечети Биби-ханым

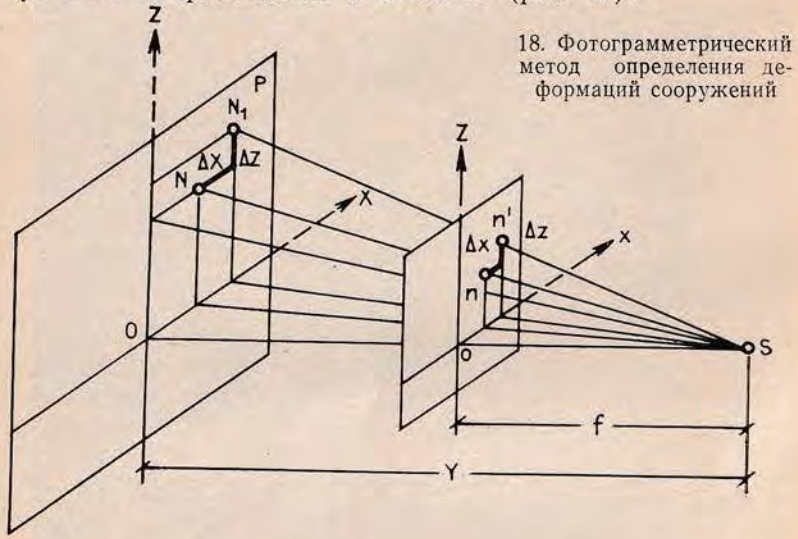


17. Главный фасад Большой мечети Биби-ханым с нанесенными вертикаль- ными отметками

в Самарканде с нанесенными на ней нивелировочными отметками.

В последние годы обычная фототеодолитная съемка деформаций заменяется фотограмметрической или стереофотограмметрической съемкой. Фотограмметрический способ определения деформации и осадок зданий ведется теми же фототеодолитами [36]. Этот способ заключается в последовательном фотографировании прикрепленных к сооружению знаков до и после деформаций. Если оптическая ось фототеодолита занимает горизонтальное положение и направлена нормально к вертикальной плоскости P сооружения, то марка N, установленная на нем, изобразится на фотоснимке в виде точки n.

Если после деформации марка N переместится в точку N_1, то при неизменном положении оптической оси фототеодолита она изобразится на фотоснимке в точке n' (рис. 18).



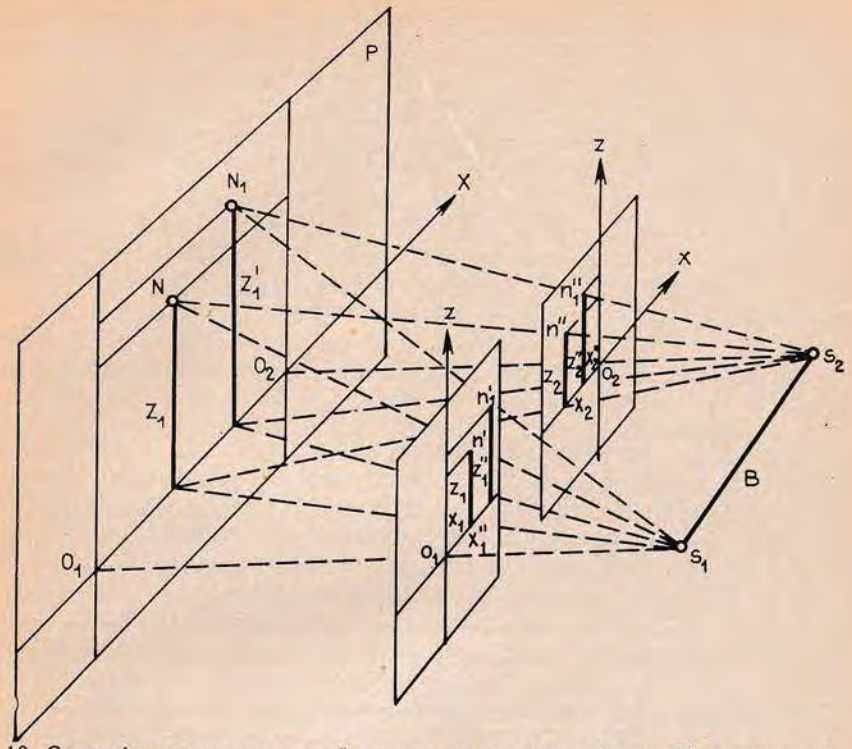
18. Фотограмметрический метод определения деформаций сооружений

Измерив на фотоснимках фотограмметрические координаты точек n и n', можно определить размер смещения Δz и Δx марки по вертикальной (z) и горизонтальным (x) осям и вычислить величины деформаций Δz и Δx по формулам:

$$\Delta z = V\frac{\Delta z}{f}, \quad \Delta x = V\frac{\Delta x}{f},$$

где V — расстояние от наблюдаемой марки до фототеодолита; f — фокусное расстояние фототеодолита.

С помощью стереофотограмметрического метода можно создать впечатление глубины пространства. Благодаря этому можно определить смещение марки, прикрепленной к сооружению, в трех измерениях. С этой целью фотографируют марку с обоих концов (s_1 и s_2) базиса B (рис. 19). Наблюдаемая



19. Стереофотограмметрический метод определения деформаций сооружений

точка изображается на левом снимке в виде точки n' с координатами x_1 и z_1, а затем на правом — в виде точки n'' с координатами x_2 и z_2. Разность абсцисс точки n на обоих снимках и есть горизонтальный параллакс в первом цикле измерений

$$P_1 = x_1 - x_2.$$

Координаты точки N в пространстве определяются по формулам:

$$x_1 = \frac{B_1 x_1}{P_1}; \quad y_1 = \frac{Bf}{P_1}; \quad z_1 = \frac{B z_1}{P_1}.$$

При перемещении точки N в положение N_1 на левом снимке получим ее изображение в виде точки n_1', с координатами x_1' и z_1' и на правом снимке — точки n_1'', с координатами x_2' и z_2'.

Пространственные координаты точки N_1 при повторном цикле наблюдений определяются по формулам:

$$x_1' = \frac{B x_1'}{P_1'}; \quad y_1' = \frac{Bf}{P_1'}; \quad z_1' = \frac{B z_1'}{P_1'},$$

где $P_1' = x_1' - x_2'$; f — фокусное расстояние фототеодолита.

Смещение точки N в N_1 по результатам двух стереоскопических пар до и после деформации определяется как разность координат:

$$\Delta x = x_1' - x_1 = B\left[\frac{(x_1' - x_1)\ P_1 - x_1 \Delta P}{P_1^2}\right];$$

$$\Delta y = y_1' - y_1 = -Bf\frac{\Delta P}{P_1^2};$$

$$\Delta z = z_1' - z_1 = B\left[\frac{(z_1' - z_1)\ P_1 - z_1 \Delta P}{P_1^2}\right],$$

где разность горизонтальных параллаксов между двумя циклами измерений $\Delta P = P_1' - P_1$.

Основное преимущество фотограмметрической съемки заключается в том, что она позволяет получить объемный обмерный чертеж в требующемся масштабе. На фотографируемую поверхность наносят через определенные расстояния поверху и понизу метки. Зная расстояние до снимаемого объекта, получают масштабный снимок. Пользуясь камеральным прибором стереокомпаратором, обрабатывают (координаты точек по шкале умножают на масштаб) стереопары в ортогональный чертеж требуемого масштаба. Проводя цикл измерений через определенные промежутки времени, определяют возможные изменения в системе координат с точностью, большей чем 1 мм. Чем ближе расположен фототеодолит к объекту, тем больше точность измерения.

Для получения плана, конфигурации и всех необходимых размеров памятника производят геодезическую съемку. Такую съемку начинают с составления генерального плана. С этой целью разбивают весь участок перпендикулярными линиями на квадраты 10×10 м и наносят на него все сооружения. Для генерального плана применяют масштабы 1 : 200 и 1 : 500. Генеральный план должен иметь спецификацию всех расположенных на нем сооружений с подробным описанием каждого из них: материалы несущих конструкций, высота, площадь, объем.

Каждое пересечение квадратов и устья всех пробуренных скважин нивелируют. По этим отметкам устанавливают и все другие вертикальные отметки: подошвы фундаментов, проемов и др.

Планы отдельных памятников составляют в масштабе 1 : 200 путем подробной съемки всех этажей, а при большой высоте сооружения, в котором нет междуэтажных перекрытий, их вычерчивают через каждые 5 м по высоте.

Съемку начинают с проложения теодолитом замкнутого полигонального хода вокруг памятника со вставками, проходящими через дверные, оконные и другие проемы. Точность основного хода нами принималась 1 : 10 000, а вставок — 1 : 5000. Съемку ведут компорированной лентой с учетом влияния температуры, провеса, неровностей местности и наклона.

Ходы закрепляют на месте забитыми в пол костылями, шляпками гвоздей или забетонировкой в грунт трубочек. После закрепленных на месте точек (обычно замкнутого полигонального хода) прокладывают во все помещения теодолитные ходы, от которых производят съемки контуров помещений. Для этого, особенно при неправильных формах внутренних помещений, применяют полярный способ. Длинные неправильной формы стены замеряют способом засечек.

Разрезы памятника составляются не менее чем по двум перекрестным направлениям в масштабе 1 : 100. Причем для несимметричного здания каждый разрез составляется с видами по обоим направлениям: юг — север, восток — запад. В разрезах указываются отметки всех уступов, пят и шелыг сводов, подоконников, карнизов и др. Точность вертикальных отметок должна быть 1,5—2 см. При наличии в памятнике разных материалов (кирпич, бут, гранит, мрамор) следует дать отметки перехода от одного материала к другому.

В составленном акте обследования должно быть сказано о необходимости геодезических наблюдений в дальнейшем за вертикальными и горизонтальными смещениями и намечены основные мероприятия. Следует иметь в виду, что бывают равномерные и неравномерные осадки. Так, Пизанская башня все время садится с небольшой неравномерностью. За 500 лет ее существования неравномерность составила примерно 1,5 м. Если бы это было не отдельно стоящее компактное небольшое в плане сооружение, то в стенах образовались бы большие трещины.

Следовательно, систематические геодезические наблюдения в первую очередь следует проводить в том случае, когда в сооружении имеются прогрессирующие трещины или нестабилизировавшийся крен. Для наблюдений за вертикальными осадками на стенах памятника на высоте в 0,5 м выше поверхности земли устанавливают марки через каждые 10—15 м (в местах примыкания поперечных стен и у осадочных швов с обеих сторон). Для таких марок рекомендуется заделать в стены чугунные плитки размером 15×15 см с квадратным отверстием посередине. При замерах в это отверстие вставляют штырь квадратного сечения и на него — нивелировочную рейку. Эти замеры ведутся до полного окончания работ по укреплению данного участка или сооружения в целом. Обычно их приурочивают к тому времени, когда под влиянием производимых работ могут ожидаться резкие осадки.

Прежде чем вести наблюдения за креном сооружения, определяют плоскость крена. Направление плоскости крена колокольни, минарета целесообразно определять путем постепенного

выбора станции (точка установления теодолита) на местности в 15—20 м от памятника со стороны, противоположной крену. Постепенным смещением теодолита в необходимую сторону от плоскости крена находят такую точку, с которой в результате измерения направлений получают одинаковые углы между вертикальными и внешними линиями сооружения. Конкретное описание нахождения плоскости крена минарета излагается в гл. VII.

Крен сооружения, в том числе и не отдельно стоящего, когда кренится какая-то оторвавшаяся от большого памятника часть, скажем, под влиянием оползневого явления, определяется путем наблюдения за ростом горизонтального смещения его верха с помощью теодолитной съемки.

Наблюдения ведут из двух фиксированных точек, расположенных на определенном расстоянии одна от другой (базиса) за какой-либо одной маркой, установленной на верху сооружения.

Сначала теодолит устанавливают в одной точке и определяют: угол наклона между визирной линией на верхнюю марку и ее горизонтальной проекцией; угол между линией этой горизонтальной проекции и визирной линией на вторую точку установки инструмента. Затем теодолит устанавливают во второй точке и определяют те же углы, а именно: угол наклона между визирной линией на марку и ее горизонтальной проекцией, а также угол между линией этой горизонтальной проекции и визирной линией на первую точку установки инструмента. Пользуясь этими замерами, и устанавливают наличие роста крена.

На основе полученных во время фиксации состояния памятника данных о росте повреждений принимается решение о необходимости в дальнейшем периодических проверок всего сооружения или его отдельных конструкций, которые получили вертикальные или горизонтальные смещения.

ГЛАВА IV

СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСЕРВАЦИИ ПАМЯТНИКОВ

Здесь должны быть использованы все возможные достижения и средства современной науки и техники...

Джованнони [29]

Работы по консервации памятника сохраняют то, что имеет достаточную прочность, и укрепляют разрушающиеся ветхие участки. Если без перекладки (замены выветрившегося камня) обойтись нельзя, то вновь вводимые материалы должны иметь высокую прочность и долговечность, учитывая и новейшие достижения в области механизации работ. Однако нельзя допускать

не только переделку, но и перекладку части памятника без особого на то разрешения государственных и общественных органов охраны памятников, если даже будет доказано, что никакой другой способ применить нельзя.

Если сохранились руины, то не следует воссоздавать законченный в художественном и конструктивном отношении ансамбль. П. Леон пишет, что всякую попытку восстановления руин следует рассматривать как святотатство и варварство [47]. Если элементы разрушающегося памятника сохранились в количестве, достаточном для его воссоздания в целом, то, дополнив утраченные части, следует такое сооружение полностью реставрировать. Однако подлинные фрагменты должны выделяться среди новых вставок.

Реставрацию во всех случаях необходимо начинать с изоляции как верхних поверхностей памятника, так и его стен от атмосферных осадков. Практикой установлено, что одно из важнейших требований сохранения древних сооружений — обеспечение непрерывного отвода атмосферных осадков от памятника и поддержание в нем нормального температурно-влажностного режима.

Так, грунтовые воды, поднимаясь по капиллярам кладки, вызывают еще большие разрушения живописи и других декоративных украшений стен, чем конденсационная вода или атмосферные осадки. Они могут поступать из грунта по капиллярам кладки фундаментов в том случае, если отсутствует соответствующая гидроизоляция в стене выше поверхности грунта.

В древнерусских памятниках в большинстве случаев гидроизоляция вовсе не укладывалась, лишь иногда применялась береста и позже оклеечная картонная, пропитанная битумом, гидроизоляция. Последняя со временем уничтожалась микроорганизмами[1]. Грунтовая вода в отличие от атмосферных осадков и конденсационной влаги содержит в себе наряду с органическими солями еще и органические вещества из перегноя растительного слоя, в том числе гуминовую кислоту. Такая вода способствует развитию и прорастанию на деревянных стенах грибка, а на каменных стенах и настенной живописи — плесени и даже водорослей.

Отмостка у стен здания должна иметь ограниченные размеры, так как с увеличением ее ширины уменьшается площадь непосредственного испарения воды из грунта в атмосферу. Большая ширина отмостки превратит стены в «фитиль», впитывающий воду из грунта. Здесь следует считать самым правильным заполнение пазух таким материалом, который имел бы крупные поры, учитывая, что вода мигрирует в сторону грунта с более мелкими порами. Однако, чтобы пазуха не превратилась в

[1] Это установлено при разборке старых зданий, где от ранее уложенной изоляции остались только черные пятна битума.

«мешок с водой», ее следует перекрыть водонепроницаемой отмосткой. Для этого достаточно ширину пазух ограничить до 0,6—0,7 м, а ширину отмостки для ее перекрытия принять до 1 м.

Реставрируя памятник, не следует вообще применять гигроскопичные материалы или более гигроскопичные, чем материалы самого памятника. К таким материалам в первую очередь относится гипс; он гигроскопичнее извести. На живописи, где в штукатурке имеется гипс, появляются темные пятна сырости. Кроме того, при повышенной влажности на гипсе появляются высолы, пропитывающие штукатурный слой, оседающие в виде кристаллов и способствующие шелушению живописного слоя. Цементный раствор со временем также способствует скоплению влаги в кладке и в штукатурном слое, так как он непаропроницаем; однако при добавке к цементу извести, хотя бы только 15% массы цемента, раствор становится вполне приемлемым и менее влагоемким, чем чисто известковый, тем более, если известь не была предварительно хорошо промыта и, следовательно, не была освобождена от солей.

Консервация деревянных зданий

В старину для строительства применяли тот материал, который можно было найти поблизости. Так, на севере Европы благодаря обилию лесов и скоплению валунов разных размеров, оставшихся от ледникового периода, для стен использовали дерево, а для фундаментов — валуны, которые чаще всего укладывали насухо.

Дерево является питательной средой для микроорганизмов, которые проникают в него вместе с влагой. Чтобы грунтовая вода или конденсационная влага не передавалась из камня на деревянные конструкции, между ними укладывали бересту в два слоя — белый к белому; она гидрофобна и может долго служить хорошей гидроизоляцией.

В других случаях при сухой (без раствора) кладке фундаментов, сложенных из разных размеров маловлагоемких валунных (округленных) камней (гранитов, кварцитов и др.), учитывая отсутствие в такой кладке капиллярного подъема — миграции воды из грунта, деревянные конструкции снизу не увлажняются. На такой кладке из камней разных размеров (для лучшей перевязки швов) были сложены фундаменты многих деревянных соборов на севере. В настоящее время там, где это допустимо по нагрузке, учитывая отсутствие поднятия воды по капиллярам, целесообразней применять крупнопористый бетон [10], как более прочный, чем сухая кладка.

При реставрации памятников, имеющих деревянные фундаменты, следует стремиться к замене их каменными, несмотря на

некоторые изменения общего вида здания. Если же такая замена требует новых конструктивных решений, то необходимо применить такие способы работ (вывешивание на поперечные балки и др.), которые не вызывали бы в дальнейшем нарушений целостности опирающихся на них частей зданий.

Срок службы деревянных сооружений значительно больше там, где имеются сливные доски, хорошо защищающие от атмосферных осадков, и в северных районах. В северных районах, где короткое лето сокращает время биологического разрушения, оно происходит скорее с южной стороны, где теплее, а в южных районах — с северной стороны, где влажнее. Разрастание зеленых насаждений у стен памятника создает условия для развития грибов — микромицетов; обнаруженные загнивания нельзя оставлять до следующего ремонта.

Желательно, чтобы с холодной стороны ограждающие конструкции отапливаемых зданий имели достаточную термоизоляцию, а с теплой стороны — пароизоляцию, во избежание их промерзания и конденсационного увлажнения. Необходимо предостеречь строителей от расположения пароизоляционного слоя на наружной поверхности стен, куполов. В этом случае водяные пары, проникающие в стены, остаются там вследствие сопротивления, оказываемого пароизоляционным покрытием. Накапливаемая влага отрывает тонкий слой покрытия и поднимает его в виде пузырей.

В закрытых частях здания необходимы систематические проветривание и просушка, в том числе и древесины, путем создания осушающего температурно-влажностного режима (осушающие продухи, аэрация помещений) [27].

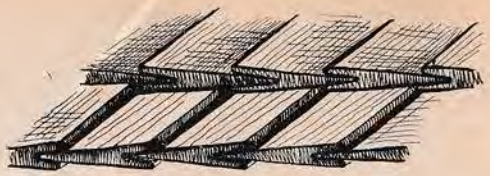
Нельзя допускать, чтобы часть одного здания отапливалась, а другая его часть (конечно, не холодная пристройка) не отапливалась. Температурный режим всех частей зданий должен быть одинаковым.

При поражении древесины внутри помещения плесенью, водорослями в том случае, когда нежелательно производить замену древесины новой, помещение следует хорошо закрыть, обработать раствором или измельченными до порошкообразного состояния химикатами. При наличии летающих вредителей рекомендуется дополнительно через каждые две недели в летнее время (май—август) в течение трех лет производить окуривание дымовыми шашками, а против ползающих вредителей применять карандаши (свечи ДДТ). При этом легко воспламеняющиеся предметы удаляются.

Необходимо учесть, что глубокое и наиболее быстрое разрушение идет по трещинам, в которых задерживается вода, поэтому укладку бревен в сруб следует вести так, чтобы на верхней наружной четверти не было трещин. Чем толще бревна, тем больше появляется на них трещин. Неантисептированные толстые бревна загнивают быстрее тонких.



20. Крыша, крытая соломой



21. Крыша, крытая гонтом

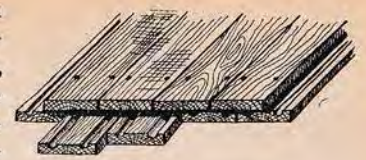
Если крышу покрывают соломой, то обрешетку под солому делают из жердей, располагая их через 25—30 см одну от другой. К каждой обрешетине привязывают рядами снопики соломы так, чтобы вышерасположенный ряд располагался в шахматном порядке и перекрывал привязку нижерасположенного (рис. 20). Концы снопиков подстригают. Соломенные крыши всегда делали крутыми, но в большинстве случаев при продолжительных дождях они протекали.

Для устройства кровли из дранки обрешетку делают из жердей или брусков, располагая их с зазорами не более 10—12 см. Обычно дранкой кроют не менее чем в 3 слоя, прибивая каждую дранку двумя гвоздями. Укладку ведут также начиная с нижнего ряда. При укладке в 3 ряда каждая последующая дранка укладывается с заходом на предыдущую в одном направлении на $^2/_3$ ее ширины, т. е. в каждом участке крыши, за исключением крайних дранок, получается слой толщиной в три дранки. Следующий по высоте ряд кладется, перекрывая на $^2/_3$ предыдущий нижний ряд, и начинают его укладывать с противоположной стороны предыдущего ряда с заходом каждой дранки на $^2/_3$ другой, но в обратном направлении. Чтобы кровля была более долговечной, дранку укладывают в 5 рядов. Для дранок применяют колотую осину или ель. Ширина дранки составляет 15 см, а длина — 35 см. Гонт для покрытия кровли укладывают так же как дранку, только в один слой, перекрывая предыдущий ряд на 5 см (рис. 21).

Тесовые кровли для сараев в старину делали в один слой. Тес служил обрешеткой и кровлей. Он укладывался горизонтально, начиная снизу, каждая последующая тесина перекрывала нижележащую. Для жилых же зданий сначала прибивали обрешетку, а затем к ней пришивали два ряда досок (рис. 22). Доски нижнего ряда имели желобки, по которым стекала вода, проникшая сквозь щели между досками верхнего ряда. Желательно устраивать желобки в обоих слоях. Кровли из щепы, гонта и теса, как правило, не окрашиваются.

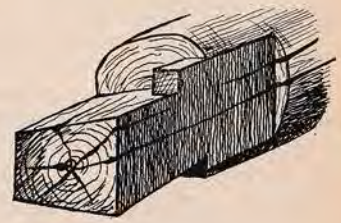
Часто купола церквей покрывали лемехом, изготовленным из осины. Толщину лемеха принимают в 30 мм, ширину 180—220 мм и длину до 400 мм. Внутренняя поверхность лемеха для купола

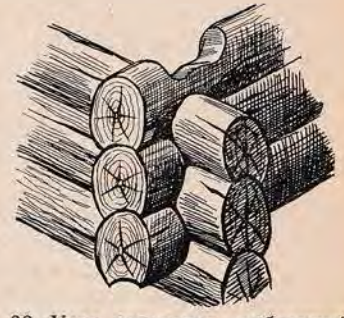
делается по его длине вогнутой, а внешняя выпуклой, двойной кривизны (для бочек — в одной плоскости), причем радиус вогнутой поверхности в 2 раза больше радиуса выпуклой. Все поверхности обрабатываются при помощи топора. Под лемехом обычно укладывали бересту. Последнюю складывали вдвое так, чтобы белые поверхности, прижимаясь одна к другой, усиливали изоляционный слой.



22. Крыша, крытая тесом

Чем больший свес имеет кровля, тем меньше увлажняются стены. По этой причине у крыш делают пологие откосы в стороны — «полицы». При двойной тесовой кровле (что лучше, чем трехслойная, так как средний ряд долго сохраняет влагу) тесины нижнего ряда необходимо укладывать заболонной стороной — подкорным, более молодым слоем вверх, стараясь отбирать боковые доски. Верхний ряд лучше делать из тесин, полученных ближе к сердцевине, но без последней, ибо она наиболее подвержена растрескиванию. В старину тес применялся широкий (28—32 см), толстый (6,5 см) и неодинаковый по ширине, необрезной с неровной поверхностью, сужаясь кверху, как сама вершина доски. Все это придавало кровле прочность и живописный вид.





23. Угол четверика, рубленный «в обло».
Конец бревна при рубке «в лапу»

Стены деревянных сооружений строили из бревен, рубленных «в обло» или «в лапу» (рис. 23). Причем с внутренней стороны бревна часто стесывали (протесанные стены). Полы и потолки на севере настилали из массивных плах — расколотых пополам толстых бревен, или из полученных от раскола бревен толстых досок, сверху гладко затесанных топором.

Чтобы при реставрации вновь заведенные бревна не выделялись своим цветом, их следует после валки и окорки с тщательным удалением луба (стеску бревен на цилиндр в старину не производили) сначала продержать до трех лет в штабелях, а потом заводить в срубы.

При сооружении срубов с одной стороны вдоль всего бревна вырубается желобок. В более древних постройках этот желобок

вырубали в верхней плоскости нижнего бревна. Когда желобок расположен снизу, в него затекает вода, но в этом случае над ним лежащее бревно имеет большую неподвижность и не может сместиться по горизонтали. Однако из-за затекания атмосферных осадков в эти желобки древесина начинала загнивать, и значительно позже, видимо, по этой причине желобок стали вырубать в нижней плоскости вышележащего бревна.

Укладку бревен в каждом венце вели примерно из одинаковых по толщине бревен в комле. В углах четвериков над комлем одного бревна проходила вершина другого бревна. Четверики чаще всего рубили «в обло» с остатком и потайным шипом (см. рис. 23).

За пределами остатка вырубали гнездо, в которое входило перпендикулярно уложенное бревно смежной стены. Сначала для лучшей пригонки венцов паклю (мох) в пазы не укладывали. После сборки с хорошей пригонкой всех венцов сруба его разбирали и вторично собирали, но уже с закладкой пакли в желоба. Если здание имело более четырех стен (пятерик, шестерик, восьмерик), или когда прорубали к четверику алтарь (абсиду), рубку вели «в лапу» (см. рис. 23). Для лапы применялись косые шипы с замком.

Для замены сгнивших бревен поднимали с помощью ваг-слег толщиной 12—14 см вышележащие венцы сруба. Вага играла роль рычага первого рода. На расстоянии примерно 0,3 м от сруба устанавливали козел (опора ваги) высотой на 0,2 м выше заменяемого бревна.

В месте упора ваги к срубу прикрепляли горизонтально расположенный брус. Чтобы приподнятая стена поддерживалась на этой отметке на время, необходимое для заводки другого бревна, образовавшийся разрыв в примыкающих к ней поперечных стенах заполняли деревянными прокладками. В настоящее время для подъема сруба применяют домкраты. Высота подъема должна обеспечить заводку нового бревна с установленными в нем сверху и снизу шпонками.

Заменяемый материал должен быть таким же, как по породе, так и по размерам. Новые бревна должны иметь высокую прочность, а значит быть мелкослойными, иметь нормальную сбежистость, близкую к заменяемым по цвету и тону, не быть искривленными и суковатыми. Включаемые в сруб бревна требуют тщательной подгонки в пазах. Необходимо стремиться к тому, чтобы вся поверхность паза соответствовала округленной поверхности нижележащего бревна. Не следует вместо замены новыми бревнами стесывать подгнивший слой и устанавливать коронки.

Восстановление спиленных или сгнивших консолей требует замены и прочных бревен, продолжением которых они являются. Такие бревна заменяются на всю их длину, не допуская стыка старого с новым.

Забивку костылей и тем более сверление сквозных дыр в бревнах срубов для болтов следует избегать, так как в эти места вместе с атмосферными осадками проникают микроорганизмы и дерево начинает гнить.

Обследование деревянных конструктивных элементов должно производиться не реже одного раза в год. Аномалии, обнаруженные при обследовании, необходимо актировать.

Антисептическая обработка деревянных элементов должна производиться при работах по реставрации памятников, в которых обнаружено развитие дереворазрушающих домовых грибков или насекомых.

Пропитку лучше всего производить поочередно сначала в горячей ванне с петролатумом, температура которого должна составлять +120°—140°С, где древесину выдерживают с целью ее прогрева и просушки, а потом быстро переносить в «холодную» ванну с температурой антисептика +65°—75°С, где древесина пропитывается. Причем влажность древесины до закладки в горячую ванну не должна превышать 35%. После этого в трещины закладывают пасты: на внутренних поверхностях стен экстрактовые на фтористом натрии, на внешних — битумные [39].

Увлажнение и высыхание или стабильное увлажнение приводят к развитию различных грибков, разрушающих органические вещества. Загнивание может начинаться при влажности, превышающей 25%. Деревянные элементы, пораженные личинками жуков-точильщиков и потерявшие механическую прочность, должны удаляться и заменяться новыми с обработкой инсектицидами — отравляющими веществами. Для комбинированной защиты не только от гниения и разрушения насекомыми, но и загорания необходимо к раствору антисептиков добавлять антипирены. Поскольку масляные растворы горючи, выделяют резкий запах и окрашивают древесину, то для обработки бревен, расположенных внутри помещений, и для обозреваемых элементов рекомендуются водные растворы. Масляные антисептики в основном применяются для конструктивных элементов фундаментов.

При обмазке, опрыскивании или панельном способе антисептирования раствор проникает менее глубоко, чем при ванном способе.

Панельный способ, предложенный проф. С. Н. Горшиным, заключается в следующем. В верху стены устраивается открытый сверху горизонтальный лоток, в который непрерывно накачивается антисептик. Последний, выливаясь из лотка, смачивает, начиная сверху стены, над которой он расположен, на всю длину. Чтобы раствор не улетучивался, ниже лотка с отступом в 2—3 мм от поверхности стены натягивается полиэтиленовая пленка. Благодаря прижатию пленки к стене короткими планками в шахматном порядке через каждые 0,5 м антисептик сво-

бодно стекает вниз по всей длине стены. Непрерывно стекающий антисептик поступает в нижний лоток, из которого он насосом перекачивается обратно в верхний лоток. Благодаря непрерывному и продолжительному смачиванию пропитывается весь пораженный участок и частично здоровый, особенно глубокие трещины [28]. Однако способ обмазки и панельный способ следует использовать только тогда, когда нельзя применить ванный способ, ибо при последнем способе обеспечивается пропитка зараженной древесины на всю глубину заболони и на 5 см здоровой древесины.

Органические конопатные материалы антисептируют погружением в холодную ванну на 20—30 мин с последующим высушиванием. При закладке в стены заново конопатных материалов можно применять шлаковату или стекловату, придавая им цвет пакли.

Деревянные непрогнившие изделия и конструкции, пролежавшие сотни лет ниже уровня воды, можно законсервировать ванным способом с некоторым повышением конструктивной прочности. Это в основном относится к ценным археологическим находкам, потерявшим не более 50% своей прочности. Такие извлеченные предметы насыщены водой и размягчены, но сохранили свои первоначальные формы. Для консервации такой древесины необходимо сначала ее обезводить, а потом пропитать соответствующим составом.

Так, в Ленинграде (Эрмитаже) в таких экспонатах вода вытесняется ацетоном, затем древесину пропитывают мономером бутилметакрилата, в качестве катализатора применяют перекись бензоила. Указанный состав подогревают до 80°С и экспонат выдерживают в нем до 10 ч. За это время мономер затвердевает и тем самым укрепляет древесину.

За рубежом для обезвоживания применяют в основном спирты, либо запатентованные средства, а затем пропитывают древесину раствором полиэтиленгликоля. Пропитка полиэтиленгликолем в зависимости от технологии и концентрации раствора продолжается от нескольких месяцев до нескольких лет.

Очистку деревянных деталей от масляных красок следует производить нанесением кистью смывки СП-6, АФТ или др. Через 1 ч следует снять шпателем разбухший слой краски.

Смывку накладывают столько раз, сколько имеется слоев краски. После очистки поверхность следует протереть марлевым тампоном, смоченным в уайт-спирте.

Деревянные конструктивные элементы, не имеющие необходимой жесткости, будучи многие десятилетия под напряжением изгиба, деформируются — из прямолинейных становятся криволинейными. Выпрямить такие деформации с применением соответствующих сил в короткий срок нельзя, так как

элемент сломается. Так, не было принято предложение о том, чтобы выпрямить получившие изгиб крайние панели однопролетных деревянных стропильных ферм пролетом около 50 м в здании московского Манежа, сооруженного в начале XIX в.

Деформированные участки деревянных конструктивных элементов во всех случаях, если они не имеют художественной ценности, следует заменять новыми и придавать им такую жесткость, чтобы они больше не прогибались. Поэтому для ферм московского Манежа можно рекомендовать увеличение сечений в крайних панелях верхнего и нижнего поясов и при необходимости, как исключение, применение более прочных материалов, но не допуская образования конденсата в местах контактов новых и старых конструкций.

В районах, где мало лесов и неглубоко залегает глинистый грунт, как правило, применяли фахверковую конструкцию стены: деревянный каркас с каменным заполнением. Такие здания, стены которых заполнены сырцом или мятой глиной, трудно поддаются укреплению. В этом случае надо одновременно решать две проблемы: антисептировать часто открытую внешнюю поверхность деревянного каркаса и укрепить от размыва и выветривания атмосферных воздействий его заполнение. Деревянные каркасные конструкции лучше антисептировать с добавлением фтористого натрия и сульфатно-спиртовой барды в количестве не менее 200 г/м² обрабатываемой поверхности древесины.

Так, автором был произведен осмотр и составлены рекомендации по реставрации стены Белого зала дворца Ситораи-Махи-Хоса (Бухара). Стены зала каркасные, фундамент из известняка. Каркас состоит из нижней и верхней деревянной обвязки и вертикальных брусчатых стоек. Заполнение каркаса из сверцового кирпича на глинистом растворе. С внутренней стороны стены оштукатурены алебастром с большим количеством гипсовой лепки и украшены зеркалами. С внешних сторон стены оштукатурены глиной с примесью резаной соломы. В отдельных местах деревянные элементы каркаса обнажились. Древесина частично поражена гнилью. Для ее антисептирования применили раствор ХМ-5, состоящий из технического двухромовокислого натрия, сернокислой меди, уксусной кислоты и воды. Покрытие древесины производилось кистями пять раз через 15—20 мин. Штукатурка из глины в смеси с резаной соломой не дает даже волосных трещин, поэтому на меньшую глубину увлажняется атмосферными осадками и быстрее просыхает.

При реставрации внешних поверхностей сырцовых стен, сложенных на глине, целесообразно применять глину в смеси с резаной соломой. К сожалению, известь, добавленная в глину, хотя и удлиняет срок службы таких стен, однако изменяет их окраску. Сырцовые стены следует ремонтировать не реже

одного раза в 5 лет. Обмазывать внешнюю поверхность стен для усиления прочности жидким стеклом нельзя, так как это сделает ее паронепроницаемой, вызовет образование конденсата, а вместе с этим и увлажнение стены с отслоением корки, пропитанной жидким стеклом.

Если часть каркаса стены пришла в негодное состояние и на этой стене нет живописи, то приходится такую стену разбирать и возводить заново. По-видимому, для сохранения малой ее толщины требуется повторить ранее принятую каркасную конструкцию. Для возведения такого каркаса заново следует применять металл. Если почему-либо потребуется применение деревянного каркаса (частичная замена), то древесину можно антисептировать той же глиной, но с добавлением сульфатно-спиртовой барды. Однако защиту лучше вести не обмазкой, а, как сказано выше, более долговечным ванным способом. Конечно, вместо сырца лучше применить жженый кирпич, а глинистый раствор заменить смешанным. При наличии в растворе извести металл каркаса необходимо оградить от коррозии. Для этого следует обернуть его редкой проволочной сеткой и наложить на нее цементный раствор слоем не менее 2 см.

Консервация каменных зданий

Там, где отсутствовали лесные массивы и неглубоко от поверхности залегали глина и камень для возведения стен и перекрытий сооружений, чаще всего применялся сырцовый кирпич, известняк, песчаник и более прочный камень, а позже и обожженный кирпич. Фундаменты, как правило, возводились из естественного рваного камня.

На юге, где климат сухой, применяли полы из глины, жженого кирпича и естественного камня. Кладки стен, перекрытий, полов вели на глине, извести, гипсе, ганче (на Кавказе его называют гажа — обожженная и размолотая смесь алебастра и пылеватой глины) и кыре (смеси золы с известью). Цемент впервые начали вырабатывать в конце XVIII в.

В каменных сооружениях наибольшему выветриванию подвергаются внешние плоскости каменных (кирпичных) стен на высоту до 2 м от поверхности земли. На этой высоте стены имеют наибольшую влажность. Глубина выветривания зависит от климатических условий и от качества и своевременности проведенных реставрационных работ. Так, внешние плоскости стен главной мечети Биби-ханым в Самарканде, имея толщину от 3 до 5 м, выветрились до глубины в 0,75 м. Ранее проводившиеся реставрационные работы сводились к замене в одних местах выветрившегося кирпича и ганчевого раствора сырцовым кирпичом на глиняном растворе, а в других местах — булыжным камнем на глиняном растворе. Такая замена только усугубляла положение, так как она содействовала капиллярному натяжению влаги из грунта. При производстве реставрационных работ потребовалось убрать всю старую ремонтную кладку и заменить ее прочной кладкой. Проведенные работы описаны в гл. VII, п. 7.

Если по древней кладке при ремонте, особенно с внешней стороны, была нанесена масляная краска (противопоказанный маловоздухопроницаемый состав), то ее необходимо снять, применяя химические средства: едкий натрий и др.

Материалы для инженерной консервации стен каменных памятников, внешне не обозреваемых, следует применять самые прочные и долговечные, но они должны хорошо скрепляться со старыми, обязательно сохраняя старый внешний облик. Вместо чисто известкового раствора внутри стен, сводов следует применять смешанные растворы. Это объясняется тем, что чисто цементные растворы паронепроницаемы, очень жестки и плохо скрепляются с пластичными известковыми растворами. Необходимо отметить, что при нагнетании в стену смешанного молока (цемент-известь) паропроницаемость стены сохраняется. Так, было установлено, что стены, сложенные на смешанном растворе, имеют паропроницаемость, близкую к известковой кладке. Это очень существенный фактор — проникающая влага быстро испаряется. Конечно, внешние необлицовываемые стены для сохранения прежнего вида следует класть с пустошовкой, заполняя последнюю ранее применявшимся раствором. Рекомендации автора сводятся к тому, чтобы при каменных материалах шире применять прочный цементный раствор. Там, где первоначально использовался известковый раствор, можно применять портландцемент с обязательной небольшой добавкой извести, а при наличии в старых растворах алебастра — сульфатостойкий портландцемент тоже с добавкой извести.

При необходимости прикрепления обрушившихся деталей к хорошо сохранившейся части стены, сложенной на растворе с примесью алебастра, и при отсутствии сульфатостойкого портландцемента можно воспользоваться рекомендуемым ниже способом.

После очистки всей поверхности примыкания от выветрившегося камня и раствора необходимо эту поверхность смазывать (до двух раз) густым известковым молоком, а затем уложить добавляемые кирпичи или детали на растворе из портландцемента в смеси с известью. Для такой смеси достаточно 30% извести. К сожалению, трещины, образовавшиеся в кладке стен мавзолея Момино-Хатун в Нахичевани (см. рис. 1), сложенных на гаже, залили чистым портландцементным раствором. Такой раствор, во-первых, не только не сцепляется с гажой, но, наоборот, увеличиваясь в объеме на контакте, отрывается от

старого раствора, и, во-вторых, внешне резко отличается по цвету, уродуя памятник.

Инъектирование цементно-известкого молока в швы и трещины ведется в два приема с помощью специального инъекционного насоса. Сначала раствор делают более жидким В:Ц=1:0,7, затем 1:1. В обоих случаях добавляется 20—30% извести-пушонки. При широких трещинах количество цемента удваивается. В сухие стены добавляют белокаменную пыль (10—30%), а в сырые — цемянку из кирпича, растертую до фракций, проходящих через сито 1000 отв/см², инъекционный раствор процеживают через сетку с отверстиями 1—1,5 мм.

Для инъектирования в кирпичной стене перфоратором или электродрелью просверливают отверстия диаметром 25 мм на расстоянии 0,5—0,75 м одно от другого на глубину ⅔ толщины стены. В них вставляют водогазопроводные трубки диаметром 15 мм. Место выхода открытого конца трубки из стены заделывается алебастром на глубину 8—10 см. После нагнетания молока трубку извлекают, а оставшееся отверстие заделывают раствором в цвет и фактуру кладки.

Если раствор кладки стены настолько разрушился, что цементное молоко начинает вытекать из швов кладки, то все швы по всей площади укрепляемой стены заблаговременно тщательно заделывают. Для этого сначала вычищают старый раствор, протаскивая по швам между кирпичами скарпель с лопаточкой шириной 8 мм на конце (диаметр скарпели 5 мм) до глубины в 10 см.

Заделка швов должна вестись аккуратно без замазывания кирпича, камня. Швы необходимо заделывать способом чеканки полусухим раствором, состоящим из извести (тесто) 0,25 части, серого цемента 1 часть, песка 3 части, цемянки 2 части, окиси хрома в количестве, необходимом для получения соответствующего цвета, и железного сурика для тонировки.

Для механизированной заделки швов используют такой же, но пластичный смешанный раствор, песок в нем заменен размолотой в порошок цемянкой, и применяют инъекционный насос с плоским наконечником типа брандспойта. При небольших плоскостях заделки швов раствор накладывают на сокол, а с него заталкивают в швы. Для такой заделки швов применяют деревянную чеканку — доску толщиной (по всей длине) на 2 мм менее толщины шва, шириной 20 см и общей длиной 30 см.

Путем нагнетания в стену упрочняющего состава можно хорошо укрепить разрушающуюся кладку. Однако и после такого укрепления стены не следует устраивать под ней шахту для подводки фундаментов. С целью предупреждения осадок здания и возможного обрушения при сооружении шахты непосредственно под стеной, желательно заблаговременно снять с основания нагрузку с помощью заводки сквозь стену попе-

речных балок. Можно считать безопасным пробивку в стене одного сквозного гнезда для заводки поперечины только после инъектирования в нее упрочняющего состава. Обычно в таких случаях устанавливают не менее двух поперечин: сначала одну, придавая ей домкратами необходимое предварительное напряжение, а потом таким же способом вторую.

Нагнетанием упрочняющего раствора укрепляются и фундаменты, получившие большие разрушения. Обычно наибольшие разрушения получают фундаменты до глубины в 0,5—0,7 м от поверхности земли. Ниже этой отметки кладка фундаментов в грунтах естественной влажности, как правило, сохраняется без изменений. Здесь целесообразна и допустима перекладка фундамента на более прочном чисто цементном растворе. Для производства этих работ все стены разбивают по периметру на отдельные участки длиной до 5 м. Выкапывают траншею глубиной на 15—20 см ниже глубины выветрившегося слоя, ширина траншеи 0,8 м.

Часто в памятниках обнаруживают слабую кладку фундамента на значительно большей глубине. Это обычно связано с плохим качеством фундаментов. Захоронения под фундаментами памятников также ослабляют основание.

Укрепление кладки фундаментов при сильно выветрившемся растворе ведется теми же способами, что и для стен со слабым раствором. Однако для фундаментов при их перекладке или инъектировании упрочняющим раствором следует применять цемент без примеси извести. Здесь не требуется паропроницаемость и необходима меньшая водопроницаемость.

Если фундаменты сооружения были сложены из слабых каменных материалов или внутри них оказывалась одна известь или просто мусор, как это имело место в звоннице в Вяземах (Московская обл.) и др., то такие фундаменты трудно усилить инъекцией, их приходится перекладывать. В бесподвальном памятнике такой фундамент необозреваем, и его следует переложить отдельными участками. Для перекладки при небольших нагрузках 200—300 кН на 1 пог. м можно рекомендовать беспесчаный бетон (крупнопористый). В таком бетоне не происходит миграции воды из грунта, а следовательно, не требуется проведения сложных работ по устройству специальной гидроизоляции. При наличии же в памятнике подвального помещения желательно внутреннюю плоскость стен подвала сохранить. В соответствии с этим приходится перекладывать большую часть толщины фундамента. Для такого случая или при больших нагрузках на основание рекомендуется применять бутобетон и устраивать хорошую гидроизоляцию.

Вредно влияет на камень смена сухости и влажности, а постоянная мягкая теплая среда воздействует еще пагубнее,

3(0,5) Зак. 120

чем резкие погодные и температурные изменения. Спертая влажная атмосфера в закрытых помещениях и погребах разрушительно действует на каменные материалы. Помочь можно постоянным проветриванием, отводом поверхностных вод и мероприятиями против капиллярного подъема воды. Чем гигроскопичнее материал стен, тем сильнее разрушение. Допустимой влажностью каменных материалов, в том числе и штукатурки, следует считать 5%.

Если поднимающаяся влага насыщена солями, то эти соли при высыхании стен выделяются на них в виде налетов, вызывая разложение породы и постепенное выкрошивание ее. Дело в том, что испарение воды из камня часто компенсируется притоком минерализованной воды, главным образом вследствие капиллярного подсоса. Содержащиеся в капиллярной воде гуминовые кислоты, а также соли хлорида и сульфата кальция, натрия и магния выкристаллизовываются на поверхности (ямчуга). Если камень лишен естественного промывания, то эти соли накапливаются в нем. Действие указанных солей связано с образованием различных кристаллогидратов с неодинаковым количеством кристаллизационной воды, с разным молекулярным объемом. Переход одной модификации соли в другую сопровождается резким изменением общего объема соли. Учитывая, что переход кристаллогидратов один в другой происходит в природных условиях при колебаниях температуры и влажности воздуха, камни, пропитанные сульфатами и хлоридами, могут испытывать большие напряжения, приводящие к их разрушению. Среди конструктивных элементов в первую очередь разрушается пол, сложенный на насыпном грунте из плит белого камня. Если же заменить пол настилкой чугунных плит, превращая его в водонепроницаемый, то ускоряется засоление стен и пилонов. И, наоборот, снятием чугунной изоляции уменьшается процесс сульфатного засоления стен. Наряду с этим следует отметить, что если сульфаты и хлориды не имеют возможности кристаллизоваться и вода из них не испаряется, то они не оказывают разрушающего действия. Этим объясняется то, что камни, лежащие ниже поверхности земли, не имеют следов разрушения, но будучи обнажены от грунта, вскоре начинают разрушаться.

Степень разрушения увеличивается при энергичном подсосе, быстром испарении и повышении концентрации раствора, так как в этом случае соли, не достигая поверхности камня, полностью выкристаллизовываются на глубине 1—2 мм, вызывая появление корочек отслаивания. Следует знать, что уже засоленный камень, лишенный капиллярного подсоса воды, может продолжать разрушаться вследствие гигроскопического увлажнения, так как заключенные в нем соли находятся в подвижном состоянии. Источниками сульфатного и хлоридного засоления главным образом служат, как было сказано,

грунтовые воды, непрерывно увлажняющие сооружение, и в меньшей степени сами камни, в которых имеются и равномерно распределяются сернокислые соединения. И, наконец, присутствие в дождевой воде растворенной углекислоты и сернистой кислоты от имеющихся в атмосфере двуокиси углерода и сернистого ангидрида переводит известняк в легко растворимый бикарбонат и бисульфат кальция. Это вызывает увеличение объема солей в порах камня.

Основным способом борьбы с засолением кладки от воздействия грунтовых вод следует считать устройство действенной гидроизоляции от грунтовых вод, продолжительное и регулярное промывание камня водопроводной или речной водой с систематической его очисткой и улучшение температурно-влажностного режима здания с целью уменьшения общего запаса влаги. Камни изверженных пород, имеющие плотную структуру, сравнительно легко очищаются промывкой. Систематическая очистка камня от солей мягкими щетками замедляет процесс разрушения. Необходимо собирать и удалять выцветы и каменную муку, насыщенные солями. Покрывающие цоколи зеленые водоросли служат признаком увлажнения цоколя водой, стекающей со стен (крыши). Если же эта вода проникает в фундаменты, то обратно она возвращается по капиллярам, становясь источником увлажнения.

Не следует очищать камень стальными щетками и тем более стеской без последующей шлифовки поверхности карборундовым камнем, так как при этом остаются на камне царапины, легко заполняемые пылью, и, кроме того, камень лишается образовавшейся на нем погодостойкой оболочки.

Недопустима покраска камня масляными красками, так как она препятствует высыханию. То же следует сказать и о пленке из растворимого стекла, которая закрывает поры и тем самым создает воздухонепроницаемую оболочку. Если под такой оболочкой образуется лед, то он отрывает ее. Для предохранения камня необходимо, чтобы пропитывающие вещества давали с камнем стойкие химические соединения или хорошее сцепление (адгезия), без образования воздухонепроницаемой оболочки. Важно, чтобы камень не изменял своего вида и не был изолирован от доступа к нему воздуха. Наиболее целесообразно использовать для этих целей фтор-силикат магния или фтористый магний. Фтористый магний бесцветен и не имеет запаха, но весьма токсичен, как все растворимые фтористые соли. После его нанесения необходимо тщательно обмыть камень водой, чтобы при высыхании не выделялись соли. Следует учесть, что действие фтористого магния на разные камни различно. Так известняки в отличие от мрамора быстро и хорошо закрепляются после обработки фтористым магнием. Для меловато-глинистых вяжущих пород рекомендуется сначала пропитка известковой водой, а

3*(0,5) Зак. 120

спустя год — фтористым магнием или натрием для образования нерастворимого фтористого кальция. Закрепление песчаника фтористыми соединениями может дать положительные результаты, если в составе песчаника нет железа, так как фтористый натрий реагирует с солями железа. Песчаники также рекомендуется сначала обрабатывать известковой водой.

Камень может быть хорошо укреплен нанесением на него углеводорода с растворенным в нем пуническим воском (озокеритом) или парафином (способ Шерелмея). Этот состав, проникая на глубину до 5 см, создает нейтральную упругую оболочку, и камень не отмирает. Песчаник можно укрепить и смесью горячего отбеленного льняного или макового[1] масла с парафином или воском, растворенными в скипидаре. Однако известняк от этого темнеет и через 10—15 лет требуется повторная смазка. Пропитка песчаника по способу Гартмана и Гауэрса также дает хорошие результаты; она ведется последовательно сначала спиртовым раствором калийного мыла, а затем раствором уксуснокислого алюминия (обе жидкости носят название тесталина). Камни перед пропиткой должны быть хорошо высушены, очищены и не должны содержать растворимые соли, чтобы пропитывающее вещество могло бы быстро и глубоко проникнуть в раскрытые поры. Для очистки камня и удаления из него растворимых солей его несколько раз обмывают водой, пользуясь жесткими с коротким ворсом щетками, естественно, без добавления кислот, так как последние если и не разрушают данную породу камня, то во всех случаях обесцвечивают его. При глубоком загрязнении камня рекомендуется обмывать его равальфлюатом (четыреххфтористый кремний с избытком свободной кремнефтористоводородной кислоты, плотностью $d_{15}=1{,}383$), который, очищая камень, делает его тверже; после этой процедуры камень следует промыть чистой водой.

Л. А. Петров [33] считает, что для сохранения памятников, расположенных в зонах с многократным замораживанием и оттаиванием (например, в Пскове), следует полностью восстанавливать разрушенную облицовку, используя камень из тех же известковых карьеров, что и при постройке. Для обеспечения долговечности такой облицовки можно порекомендовать смачивать ее известковой водой (взятой из загасившейся извести) до полного впитывания в камень. Такое смачивание следует проводить не реже одного раза в 5 лет.

Смыть грязь с мрамора, известняка, алебастра и пористых каменных материалов можно сначала паром, потом горячей водой. Так, мраморные фигуры в парке Версаля и мраморная облицовка здания гостиницы «Москва» в Москве очищались с помощью пароструйного аппарата. При сильной загрязненности рекомендуется сочетать пароводную обработку с помощью очистителя ОМ-3360 и с очисткой жесткими щетинными с коротким ворсом щетками. Насадку шланга для подачи воды или пара располагают на расстоянии 30—40 см и под прямым углом от очищаемой поверхности. Для пара рекомендуется температура 100°С, а для горячей воды — 60—70°С. Рабочее давление пара принимают до 9 ати, воды — до 18 ати. Можно смывать грязь и эмульсией «ВЭПОС». Последняя химически нейтральна, мягко воздействует на естественную патину камня и достаточно эффективно очищает поверхности от загрязнений. Преимущество этой эмульсии перед водными растворами пенообразующих моющих средств (мыла и др.) сводится к минимальному применению воды. Это существенно для мрамора и известняка, в которых при наличии микротрещин может от присутствия воды произойти закисление. Чтобы очистка эмульсией «ВЭПОС» не привела к окрашиванию светлых каменных изделий, она должна иметь молочно-белый цвет, т. е. быть хорошо очищенной. При необходимости получения матовой поверхности камня, эмульсия не должна содержать парафин и, наоборот, для получения глянцевой поверхности требуется включение парафина. После применения этой эмульсии необходимо смазать поверхность камня спиртом для обезвоживания.

Перед консервацией загрязненной, начинающей разрушаться известняковой кладки, зараженной биологическими культурами, необходимо ее очистить, исключить биологические воздействия и укрепить структуру камня. В первую очередь необходимо осушить камень и защитить его от подсоса воды, после этого смазать известковой водой, а затем протонировать белокаменную деталь следующим составом: известковое тесто — 2 части, белый цемент — 1 часть, белокаменная мука — 2 части, охра золотистая — 0,025 части. Все затворяется водой до консистенции «сливок» и наносится равномерным слоем. Этим достигается укрепление камня, уменьшение теплопроводности, очистка от растений и тонирование.

Для предупреждения поднятия воды из грунта по капиллярам отдельными участками на уровне цоколя вводят в существующую кладку гидроизоляцию. В пробитые горизонтальные щели — пропилы высотой в 2—4 ряда кирпича, выровненных цементным раствором, внахлестку укладываются полосы рольного свинца, тонкой листовой нержавеющей гидроизоляции и завариваются или 2 слоя гидростеклоизола с последующей зачеканкой сверху цементным раствором.

Пилоны обычно имеют большие напряжения и для заводки в них гидроизоляции их приходится предварительно (на время производства работ) разгружать подкосами. Применять картонную гидроизоляцию (рубероид, пергамин и др.) не рекомендуется, так как через 15—20 лет она, как уже было ска-

[1] Маковое масло со временем желтеет меньше, чем льняное.

зано, будучи питательной средой, съедается микроорганизмами, проникающими в нее вместе с влагой. В иностранной литературе для заводки в стены гидроизоляции рекомендуется устраивать зазор в кладке путем последовательного высверливания скважин, заходящих одна за другую. Хорошая гидроизоляция предотвращает поступление новой влаги, но снижение уже имеющейся происходит очень медленно. Так, через 3 года после устройства гидроизоляции в церкви св. Себастьяна в Венеции влажность в стенах снизилась с 20% только до 10%, а не до 6%, как требовалось.

Конечно, проще провести, как сказано выше, инъекцию в кладку на уровне цоколя цементного молока, которое проникает во все трещины, даже волосные, и на небольшую глубину (в кирпич и тем более в известняк и в песчаник не проникает), закупоривая протоки в горизонтальных и вертикальных швах. Однако таким способом не всегда можно добиться неразрывности в водонепроницаемости заполненных швов.

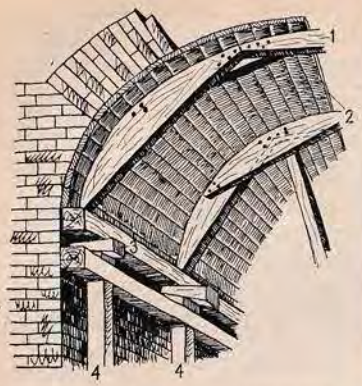
В тех местах, где пазухи у фундаментов заполнены мятой глиной (до конца XIX в. глина считалась хорошим гидроизоляционным материалом), всю эту глину следует убрать, так как она всегда остается влажной и эта влага переходит в кладку. Кроме того, при замерзании грунта происходит миграция воды из крупных пор в мелкие. Следовательно, если примыкающий к пазухе грунт более крупный, то вся вода из этого грунта переходит в глиняный замок. В этом случае лучше мятую глину заменить крупнозернистым песком. При глинистых грунтах нельзя допускать образования водяного мешка в пазухах. С этой целью рекомендуется поверх песка делать водонепроницаемую отмостку с запуском ее в выдру кладки, с уклоном не менее 2% для отвода атмосферных осадков от здания. Заполнение пазух фундаментов крупным песком или гравием служит одновременно и своеобразным дренажем, помогая осушать стены, и антивибрационным материалом.

Необходимо отметить, что в существующих рекомендациях по предупреждению увлажнений фундаментов есть ошибки. Так, в «Сообщениях» вып. V (Нормализация влажности каменных конструкций в древних зданиях), изданных Научно-методическим советом по охране памятников Министерства культуры СССР, говорится: «Не останавливаясь на дренаже, который достаточно хорошо известен, отметим более новый способ (миланский способ устройства стен в грунте — Э. Г.) устройства завес из глинистого материала, загружаемого в прорезь, пройденную специальным механизмом. Ширина такой прорези может колебаться от 20 до 50 см при глубине до 15—20 м. Завеса может проходить на близком расстоянии от здания, при этом никаких перемещений грунта и осадки фундамента в ходе работ не произойдет...» и далее «...Такая завеса является совершенно водонепроницаемой». Во-первых, нельзя утверждать, что при этом устройстве глиняного замка осадка здания не произойдет, так как слабый, насыщенный водой грунт, залегающий под подошвой фундамента, будет находиться под значительно бо́льшим давлением, чем противодавление текучего глинистого раствора. Во-вторых, как было сказано выше, глиняный замок не служит гидроизоляцией и не уменьшает притока влаги из грунта в фундамент [8]. В этом случае лучше посадить поблизости от памятника растительность, которая будет осушать грунт испарением воды через листву. Есть много растений, пропускающих через себя большое количество воды с солями и органическими веществами и тем самым способствующих не только обезвоживанию, но и обессоливанию грунта.

Иногда для осушения стен целесообразно применить кольцевой дренаж с отводом воды в пониженные места. Так, кирпичная церковь Успения в г. Каушаны (Молдавия) расположена в котловине, и за пределами 1,5 м отмосток рельеф местности со всех ее сторон повышается под углом более чем 30°. Поблизости от церкви имеется водопоглощающий колодец. Полы церкви сложены из больших известняковых плит.

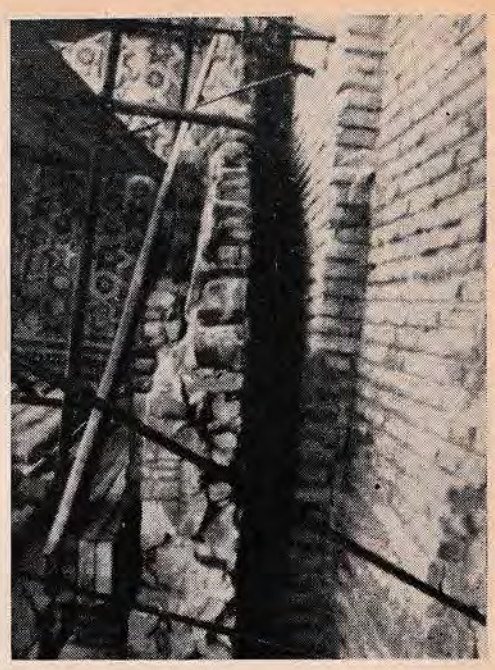
Атмосферные осадки стекаются к памятнику и увлажняют его стены и пол. Было предложено: устроить вокруг здания ниже отметки подошвы фундамента кольцевой дренаж с отводом воды в водопоглощающий колодец; снять с пола все плиты, пронумеровав их; убрать грунт из-под плит пола до подошвы фундамента и заменить его керамзитовым щебнем; поверх щебня на тонком слое смешанного раствора-подготовки уложить обратно все плиты пола. Роль керамзитового щебня сводится к тому, чтобы свести на нет ранее происходившее поднятие воды по капиллярам грунта и утеплить пол, предупреждая тем самым возможное промерзание основания, особенно под подошвой фундаментов. Конечно, расколотые на мелкие куски плиты должны быть заменены новыми, сделанными из камня, добытого в старых карьерах, что вполне допустимо.

Ранее во многих памятниках архитектуры во время производства ремонтных работ заделывали вентиляционные каналы, которые играют важную роль в создании температурно-влажностного режима памятника. Так, в сводчатом покрытии церкви Успения в г. Каушаны до реставрации живописи были обнаружены вентиляционные каналы, заделанные алебастром. После раскрытия каналов помещение получило вытяжную вентиляцию и своды начали просыхать. Вместе с тем надо учитывать, что для сохранения ценной фресковой росписи одной вентиляции без отопления может оказаться недостаточно. Здесь рекомендуется применение системы кондиционирования воздуха.



24. Кружало при прикладке свода

1 — кружало; *2* — опалубка; *3* — клинья; *4* — подпорки



25. Разрыв, образовавшийся между облицовочным слоем и основным массивом кладки после расчистки от мусора

При ремонте обрушенных участков сводов применяют кружала. На рис. 24 показаны кружала под цилиндрический свод. При кладке всего купола из кирпича обходятся без кружал, так как его каждое кольцо купола держится самостоятельно. Чтобы купол имел правильные очертания, к центральной стойке устроенных под ним лесов прикрепляют шарнирно-подвижное кружало, которым проверяют снизу образующуюся кривую купола. Новый купол для большей долговечности следует делать армированным. Для этого целесообразно применять железобетон. Чтобы такой купол имел снизу вид кирпичного, делают опалубку, кладут на цементном растворе кирпичный свод толщиной в 0,5 кирпича и над ним железобетон. Для сейсмических районов с целью уменьшения массы вместо тяжелого железобетона рекомендуется использовать керамзитожелезобетон.

Выбор способа защиты стальных элементов от коррозии зависит от месторасположения металла. Металл, расположенный вне каменной кладки, коррозируется от воздействия фазовых и абсорбционных пленок влаги на глубину в пределе 0,03 мм в год. С целью предупреждения последующей коррозии необходимо сначала очистить металл стальными щетками до блеска. После очистки на металл наносится слоем толщиной 250 микрон алюминиевое покрытие способом распыления с последующим покрытием эпоксидной грунт-шпаклевкой ЭП-0010 (ГОСТ 10277—62). Грунт из шпаклевки наносят два раза. Эпоксидную смолу разбавляют растворителем Р-40-ВТУУХП 8654 до необходимой вязкости.

Особенно подвержены коррозии те части стальных элементов, которые замурованы на глубину до 300 мм в каменную кладку, сложенную на известковом растворе. Для антикоррозионного покрытия этого участка металла его следует освободить от кладки, обработать тем же способом, что и открытый металл, затем смазать его битумом, а еще лучше покрасить свинцовым суриком и восстановить кладку.

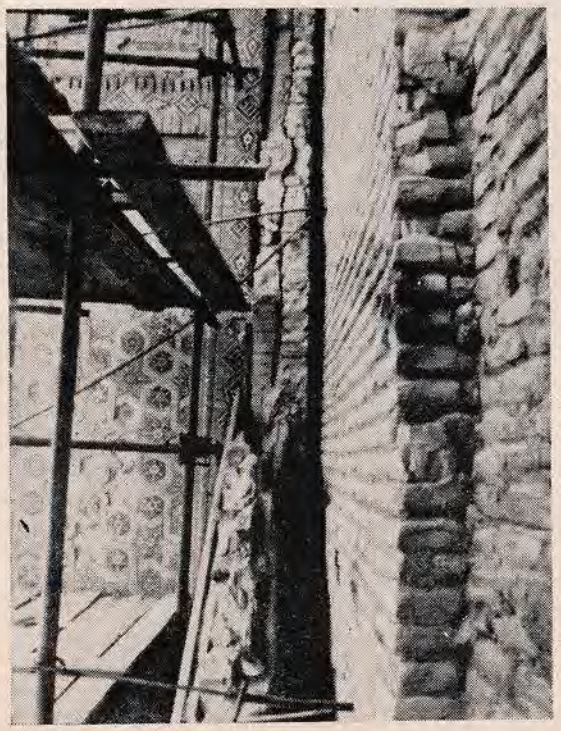
Реставрация живописи должна быть начата с устранения источников порчи: осушения и очистки поверхности, удаления пятен. При обследовании повреждений следует знать возраст живописи, ибо обесцвечивание красок разного времени может объясняться различными причинами. Для этого обычно сравнивают состояние покрасок в нескольких местах. Макроскопическое и даже визуальное обследование патологического явления, как правило, бывает достаточным для выяснения его причин. Определение состава и количества слоев окраски производят микроскопическими исследованиями пленки.

Обнаружение отслоившихся мест облицовки определяется простукиванием. Закрепление такой облицовки может быть произведено заливкой с тыльной стороны прочного раствора или нагнетанием цементного молока через вставляемые трубки. При очень большом отстаивании облицовки работы начинают с очистки от мусора, заполняющего просвет между облицовкой и основной кладкой (рис. 25). С нескольких сторон в этот просвет вставляют газоводопроводные перфорированные трубки разной длины диаметром 18—25 мм. Далее вдоль внешней плоскости облицовки устраивают деревянный каркас, и, упирая в него горизонтально установленными домкратами, прижимают облицовку к уложенным трубкам (рис. 26, 27). После этого по трубкам нагнетают за стенку облицовки соответствующий раствор в зависимости от состава ранее применявшегося раствора, который и скрепляет облицовку с основной кладкой стены. В дополнение к этому рекомендуется вдоль трещин, образовавшихся в облицовочном слое, просверливать отверстия диаметром 35—60 мм на глубину не менее 0,5 м основного массива кладки и вставлять в эти гнезда на соответствующем растворе шпильки из нержавеющего (если в старом растворе применялась известь или алебастр) металла. Известно, что во всех случаях, когда массивные известняковые облицовочные камни крепились обычными стальными скобами, вставленными сверху в выбитые в камне гнезда, металл, увеличивающийся при ржавлении в объеме, раскалывал камень.

Для прикрепления отставшей штукатурки к кладке в качестве связующего раствора рекомендуется применить известь с



26. Прижатие облицовки к массиву кладки несколькими горизонтально установленными домкратами одновременно в процессе работы



27. Облицовка прижата

казеином. Сухой казеиновый клей марки В-105, В-107 растворяют в трехкратном объеме теплой (50—70°С) воды и к полученному объему добавляют четыре таких же объема выдержанной извести 50% влажности. Этот раствор выдерживают сутки, снова перемешивают и процеживают через сито. Раствором можно пользоваться примерно 7 дней, но каждый раз перед применением его следует перемешивать. Чем раствор «моложе» тем он жиже и тем лучше проникает в пустоты. Если в кладке имеются трещины, через которые он может вытекать, то лучше применять «старый» раствор, который гуще и быстрее твердеет. Можно для этих же целей при прикреплении известковой штукатурки применять цемяночный раствор: 1 часть извести $+^1/_3$ части тонкомолотого кирпича +1 часть цемента +2 части песка. Все компоненты в мокром состоянии следует хорошо перетереть в бегунах. Толщина слоя цемяночного раствора должна быть не более 5 мм [41].

Подтеки и пятна на стенах и сводах чаще всего происходят от протечек. Однако и от обильного конденсата, и от капиллярного подсоса при насыщении ими водой свыше 75% пор кирпичной кладки также появляется сырость. В таком помещении имеется специфический запах, на предметах появляется плесень; отсыревшие обои отстают от стен и на них образуются грязноватые пятна от прилипших к ним пылинок. На неоштукатуренных стенах выступает характерный белый налет, а на оштукатуренных появляются темные пятна, причем штукатурка отстает от стен, вспучивается и осыпается. На масляной покраске появляются обесцвеченные пятна с шелушением.

Влажные стены имеют более низкую температуру, поэтому на них быстрее конденсируется водяной пар. Чем материал менее пористый, тем на нем быстрее заметнее увлажнение от конденсата. Цементная штукатурка плохо впитывает влагу и при насыщении воздуха водяным паром конденсат появляется на стенах сразу же. При пористой штукатурке (известковой) сырость становится заметной только после долгого насыщения ее влагой. Чтобы избежать появления на стенах, оштукатуренных цементным раствором, конденсата, а затем и подтеков, можно рекомендовать обмазать штукатурку густым известковым молоком. Такая обмазка впитывает влагу, конденсат становится незаметным и подтеки прекращаются.

При заделке трещин в стенах и сводах памятника в зависимости от размеров полученных деформаций и прочностного состояния кладки следует устанавливать и способы консервации. Так, при прочной кладке и небольших трещинах без существенных смещений стен по горизонтали в трещины после их промывки заделывают трубки и нагнетают раствор. При слабой кладке кроме заделки трещин раствором в стену для укрепления еще инъектируют цементное молоко. При расколах

здания с большим заметным на глаз смещением части здания по горизонтали рекомендуется расчистить трещину от мусора и половняка и способом подъема осевшей части свести трещину на нет. После этого в то место, где была трещина, нагнетают цементное молоко в смеси с небольшим количеством извести (консистенции сметаны).

Если металлические затяжки, поддерживающие своды, порвались, их целесообразно заменить новыми из прочной стали. Отверстия диаметром 60 мм и длиной до 2,5 м в каменных столбах или стенах могут быть просверлены перфоратором. Сцепление гладкой арматурной стали с кирпичной кладкой при заполнении канала цементным раствором следует принять в 500 кН/м² поверхности арматуры, длина заделки должна быть не менее 200 диаметров арматуры. При затяжках из арматуры периодического профиля расчет на сцепление следует вести исходя из расчетного сопротивления раствора на растяжение.

Если же старые затяжки и другие связи при внешнем осмотре имеют удовлетворительное состояние, следует их сохранить, необходимо только от сомнительных по прочности связей отрезать кусочки и определить предел их прочности на растяжение. Если металлические связи имеют недостаточную прочность, то с помощью анализа следует установить содержание в них углерода, ванадия, кремния, молибдена, титана и фосфора. По данным анализа подбирают выпускаемые в настоящее время близкие к ним по химическому составу марки сталей, а для их сварки те же электроды, что и для соответствующих марок сталей.

В сейсмических районах следует не только восстанавливать прочность стен и покрытий, но и усиливать их в соответствии с нормативными требованиями. Конечно, можно, хотя и сложно, укрепить каменный памятник, не имеющий ни горизонтальной и ни вертикальной армировки, так, что он не пострадает и при 9-балльном землетрясении. Но надо подчеркнуть, что для памятников архитектуры применение внешнего стального каркаса недопустимо.

Укрепление же памятника для противодействия 7-балльному землетрясению сравнительно просто и уже осуществлено на практике. Для этого на соответствующих уровнях, согласно требованиям расчетов, в стенах сооружения пробуривают горизонтальные каналы, вставляют арматуру и закрепляют ее цементным раствором. Бурение ведется теми же станками (БСК-100), которые применяются геологами для скважин при проходке сквозь твердые породы. Более подробно об этом см. гл. VII, п. 7, где рассказывается о частично проведенной инженерной консервации соборной мечети Биби-ханым в Самарканде, где возможны 7-балльные землетрясения.

В зонах 8-балльного землетрясения в добавление к способу, рекомендованному выше для 7-балльного, следует еще добиться

снижения колебаний применением специальных устройств. В первую очередь рекомендуется заменить пазухи всех внешних стен с заглублением их на 0,2 м ниже подошвы фундамента на гравий или крупный (лучше речной) песок. При уровне грунтовых вод на отметке подошвы фундамента или выше следует уложить вокруг здания кольцевой дренаж с понижением воды на 0,5 м ниже верхней отметки основания. Если фундаменты основаны на насыпных грунтах слоем до 3 м, то нужно произвести подводку фундаментов столбами в колодцах до естественных оснований, придерживаясь одной вертикальной отметки, с устройством понизу прочного армированного шва (см. гл. VII, п. 7). При большем слое насыпных грунтов целесообразно применять подводку фундаментов вдавливаемыми сваями (расчет свайных фундаментов в сейсмическом районе ведется по рекомендации института Фундаментпроект).

Тяжелые сводчатые перекрытия и покрытия, разрушенные землетрясением, должны заменяться более легкими железобетонными на керамзитовом щебне.

Конечно, можно для противодействия 9-балльному землетрясению наряду с горизонтальным бурением провести сверху и вертикальное бурение стен и устроить пространственный армированный каркас. Учитывая, что во время производства этих работ стены будут ослаблены, а землетрясение возможно в любое время, необходимо принять меры по их укреплению на время устройства внутристенного каркаса. В этом случае проще укрепить стены вертикальной установкой деревянных стоек, закрепленных хорошо натянутым внешним тросовым кольцом. При необходимости вертикальной разгрузки стен эти стойки могут быть дополнительно укреплены подкосами с предварительным напряжением. Для временного укрепления внутренних стен, где неприменимы стягивающие их снаружи корсеты-обручи, после укрепления внешних стен может быть рекомендована распорная конструкция в виде расстрелов, устанавливаемых между внутренними и внешними стенами. Такая система будет более простой в устройстве, чем стойки с подкосами.

В старину при надстройке памятников не всегда учитывали центральность передачи нагрузки на нижерасположенные стены. Часто одновременно с надстройкой древних стен возводились новые стены над сводами покрытия. В последнем случае под существующие своды подводили арки-перепетивья, пяты которых опирали на стены основного памятника.

Так, в XVII в. над Золотой Царицыной палатой в Большом Кремлевском дворце в Москве, построенной в 1508 г., надстроили три церкви. В результате реставрационных работ, производившихся по инициативе Н. Н. Померанцева, удалось установить, что над лотковым сводом, перекрывающим Золотую Царицыну палату, был сложен второй защитный свод, покрытый в свое время медными золочеными листами. На этот

верхний свод и была поставлена одна из стен надстроенных церквей. Все другие стены церквей стали продолжением существующих стен, ограждающих Золотую Царицыну палату. На нижнем лотковом своде, покрытым живописью XVII в., после этой надстройки появилась трещина. Не зная, по-видимому, что стены церкви опираются не непосредственно на свод, покрытый живописью, а на верхний, расположенный над ним, смотритель царских покоев в 1683 г. распорядился подвести под нижний свод арку с двумя нормально примыкающими к ним с боков аркбутанами. Эта конструкция получила название «перепетивья». При зондажах было установлено, что по всей контактной плоскости между верхом арок перепетивья и низом свода имеются зазоры. Это объясняется, во-первых, тем, что арки были сложены из сухой кирпичной кладки и имеют с внешних сторон только стенки толщиной в $^1/_2$ кирпича, сложенные на растворе, и, во-вторых, даже эти тонкие (боковые) стенки арок были подведены под свод не только без выдержки во времени на усадку раствора кладки, но и без подклинки раствором: даже с той стороны, где расстояние между сводом и аркой больше, зазор был закрыт только штукатуркой.

На всей нижней поверхности свода и верхних частей стен, в тех местах, где расположены перепетивья, живопись не была сбита или повреждена кладкой арок и наметами извести. Столь невероятный случай сохранения древней живописи, по мнению Н. Н. Померанцева, объясняется следующим: во-первых, каменщики XVII в. по религиозным убеждениям считали недопустимым уничтожение живописи, во-вторых, они, видимо были уверены в прочности старого свода палаты, который не требовал укрепления с помощью громоздких арок. Следовательно, существующие перепетивья — ложные и несут только свою тяжесть. Нагрузка от надстройки передается через верхний свод непосредственно на стены. Посредине откоса и подоконника проема в восточной стене образовалась большая вертикальная трещина, раскалывающая стену на две продольные половины.

Чтобы установить причину образования такой трещины, точными геодезическими замерами была определена внецентренность расположения надстроенных стен церквей к старым. Такая трещина могла образоваться из-за того, что древняя кладка стены между внешними верстами велась без перевязки швов — броску на слабом известковом растворе, а нагрузка от надстройки передавалась в большей степени на какую-либо одну ее продольную половину. Известно, что чем больше нагрузка, тем больше величины упругой деформации. Разница в нагрузке на внутреннюю и внешнюю продольные половины стены, взаимно плохо скрепленные, может вызвать деформативные усадки, отличающиеся между собой на несколько сантиметров, именно поэтому между ними и образуется трещина. После образования такой трещины более нагруженная часть стены

начнет еще больше деформироваться. Скрепить между собой несущую стену, расколотую надвое вертикальной трещиной, идущей внутри нее по всей плоскости, вполне возможно. Для этого сначала необходимо прижать отошедшую часть стены к ее второй продольной половине. Это прижатие производится приставкой с каждой из сторон стены дощатого щита, который с наружной стороны прижимается подкосами, а с внутренней — расстрелами, установленными в два ряда по высоте и упирающимися в параллельную внутреннюю стену. Подкосы, упирающиеся в стену, лучше всего прижимать домкратами. (Способ проведения работ описан в гл. VII).

Далее необходимо скрепить обе половинки стены между собой. Для этого следует через каждые 1—2 м (в зависимости от толщины стены) по вертикали и по горизонтали завести сквозь — поперек стены горизонтально — прутья из нержавеющей стали с заделкой их в толще стены цементным раствором. Это делается так же, как заводка стальных затяжек под пятами сводов (см. гл. IV, п. 3). Затем обе половины стены скрепляют между собой инъектированием в них цементно-известкового молока, состоящего из 1000 кг цемента и 80—100 кг пушонки на 1 м^3 кальцинированной воды, взятой из отстоя при гашении извести. Можно рекомендовать убрать перепетивья из Золотой Царицыной палаты, исходя из следующих соображений: во-первых, перепетивья закрывают живопись XVII в. и, во-вторых, они дополнительно нагружают стены своей собственной тяжестью, создавая при этом еще и распор; в-третьих, после их уборки не только значительно улучшится общий вид Золотой Царицыной палаты, но и станет доступной для осмотра с любой ее точки вся ценная монументальная живопись.

Если на стенах, подлежащих прижатию, имеется живопись или фрески, то с целью сохранения последних в приставляемом и к ним щите не должно быть больших разрывов между досками. Чтобы щит прижимался к стене не отдельными участками, а всей своей поверхностью, необходимо между стеной и щитом делать прокладку из шлаковаты или войлока. Для прижатия с внешних сторон здания отслоившихся толстых и высоких стен может потребоваться устройство специальных ферм подкосно-раскосной системы с упиранием в них домкратами большой грузоподъемности. Если даже стена окажется неподатливой (образовавшаяся трещина заполнилась щебенкой, раствором) и не удается придвинуть одну ее половину к другой, чтобы свести на нет образовавшуюся щель, то все же благодаря наличию устроенного и прижатого к ней крепления нагнетаемый в трещину цементный раствор (или густое цементное молоко), распространяясь по щели, не расширит ее, а заполнит пустоты. Затраты на такие крепления невелики, а положительный эффект — большой.

Особый случай представляют собой каверны в каменной кладке. Если размеры каверн превышают 5 см, то приходится производить замену камня или кирпича целиком. Каверны меньших размеров сначала очищают до ненарушенной глубины и всю поверхность смачивают водой с помощью окамелка.

Для заделки каверн в кирпиче применяют следующий состав: известь (тесто) 1 часть, серый цемент 0,5 части, цемянки 3 части, железный сурик до требующегося колера и поливинилацетатной эмульсии (ДБ-47) в количестве 25% объема воды[1]. Для повышения водостойкости к этому составу добавляют этилсиликат в объеме $^1/_{10}$ от объема поливинилацетатной эмульсии [41]. Для заделки каверн в белокаменной кладке (кроме очистки до неразрушенной поверхности ее еще очищают пароструйным аппаратом) применяют следующий состав: известь (тесто) 2 части, белый цемент 0,75 части, белокаменная крошка 3 части и песок 3 части. Состав затворяется водой с поливинилацетатной эмульсией и этилсиликатом в тех же пропорциях, как и для заделки кирпичных каверн. По мере схватывания каждого слоя его смачивают водой. После заделки каверн их поверхность следует смачивать еще 2—3 суток.

Тонировать кирпичную кладку рекомендуется следующим составом: жидкое калийное стекло (МРТУ 7-9-63), поступившее с завода, разбавляют водой 1 : 1 с добавкой пигментной части (МРТУ 10-63). Для приготовления силикатной краски, разведенной водой, жидкое стекло и пигмент смешиваются в соотношении 1:1. Полученные краски из-за их загустевания должны быть использованы в течение 10 ч. Краску необходимо периодически перемешивать. Перед тонированием с поверхности кладки удаляют пыль, потом грунтуют одним калийным стеклом, разбавленным водой в пропорции 1:1, и через 10 ч окрашивают.

Для белокаменных стен рекомендуется следующий состав: извести (тесто) 2 части, цемента белого 0,5 части, белокаменной муки 2 части, охры золотистой 0,05 части, эмульсии ДБ-47 0,05 части. Все затворяется водой до консистенции сливок и наносится на очищенные сухие поверхности.

Для гидрофобизации белокаменных деталей рекомендуется 5%-ные растворы кремнеорганических жидкостей ГКЖ-10 или ГКЖ-11. Гидрофобизацию производят при сухой погоде, температуре воздуха не ниже 3° и сухой поверхности деталей. Гидрофобизирующий раствор наносят распылителем до появления слегка заметного блеска на поверхности; чтобы этот слой хорошо сохранился, он не должен орошаться дождем не менее двух суток [41].

[1] Эту добавку и этилсиликат применяют только для открытых поверхностей.

Мероприятия по борьбе с оползнями

Прогнозировать оползни можно, как было сказано, по появлению и развитию в нагорной полосе трещин (заколов). Бурное развитие оползня обычно наступает вскоре после смещения оползневой массы на несколько десятков сантиметров. Зная природную обстановку (климат; топографические особенности склона; геологическую структуру породы, слагающую толщу; режим грунтовых вод и гидрогеологию водотоков, омывающих данный склон), можно правильно определить причину оползня и, следовательно, разработать эффективные противооползневые мероприятия. Перечень противооползневых мероприятий приводится в табл. 2.

Таблица 2. **Перечень основных противооползневых мероприятий**

Противооползневые мероприятия	Рекомендации
Запрещение разработки огородов и вырубки зеленых насаждений	Существующие огороды следует засадить кустарником, деревьями
Перепланировка склона для отвода атмосферных осадков, заделка нагорных трещин-заколов, устройство осушительного дренажа с целью снижения (разгрузки) напора и ускорения консолидации грунтов	Канавы, расположенные поперек склона, в зависимости от подстилающих грунтов должны иметь такие уклоны, чтобы атмосферные осадки не размывали их и чтобы вода, не задерживаясь, стекала
Крепление откосов: сваи, шпунтовые стенки, подпорные стенки и инъектирование грунтов	
Устройство контрфорсов для поддержания памятников	

Исследования грунтов с целью выявления положения поверхности скольжения, наблюдения за режимом подземных вод, а также полевые наблюдения по памятнику могут потребоваться и для оценки степени устойчивости береговых склонов вновь создаваемых водохранилищ. Здесь следует учитывать и ползучесть грунтов оползающих склонов, образующихся под воздействием незатухающих во времени деформаций от приложенной неизменяемой по величине нагрузки. Известны случаи, когда по причине ползучести грунтов, особенно глинистых, склоны без видимых внешних причин приходили в движение.

Самым действенным (надежным и долговечным) и сравнительно недорогим способом следует считать устройство осушительного дренажа вплоть до коренных пород. Дренажи не применяются в глинах, однородных с теми, по которым происходит сползание откоса.

К самым дорогим [4] и не всегда достигающим цели способам укрепления грунтов относится инъектирование. Для

удержания переувлажненных грунтов не рекомендуется возводить подпорные сооружения из-за возможного переползания через них грунта. В этом случае необходимо заранее установить, что со временем масса сползающего участка грунта не увеличится. Не рекомендуется для поддержания памятника устраивать контрфорсы, основанные на сползающей толще.

ГЛАВА V

УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ И ОСНОВАНИЙ

На укрепление подошвы и поддела ни трудов ни иждивения жалеть не должно.
Руководство к гражданской архитектуре России. 1789 г.

Необходимость в усилении, укреплении или переустройстве фундаментов возникает во многих случаях. Чаще всего требуется укрепление выветрившегося из кладки раствора или закрепление ранее плохо сложенной (под залив) кладки. В старину, как правило, не учитывалось влияние на известковый раствор агрессивных грунтовых вод, поэтому в таких условиях раствор не получал требуемой прочности. Очень часто, как уже было сказано, фундаменты возводили на насыпных грунтах, имеющих органические примеси [14]. Фундаменты сооружений, возведенных на таких грунтах, требуют не только укрепления, но и заглубления сквозь насыпные грунты в материковый слой. Реже возникает необходимость в уширении подошвы фундамента из-за несоответствия между нормативным давлением на основание и действующей нагрузкой. Уширение подошвы может потребоваться, если в связи с постройкой поблизости плотины произошло повышение уровня грунтовых вод, что понизило несущую способность грунта основания.

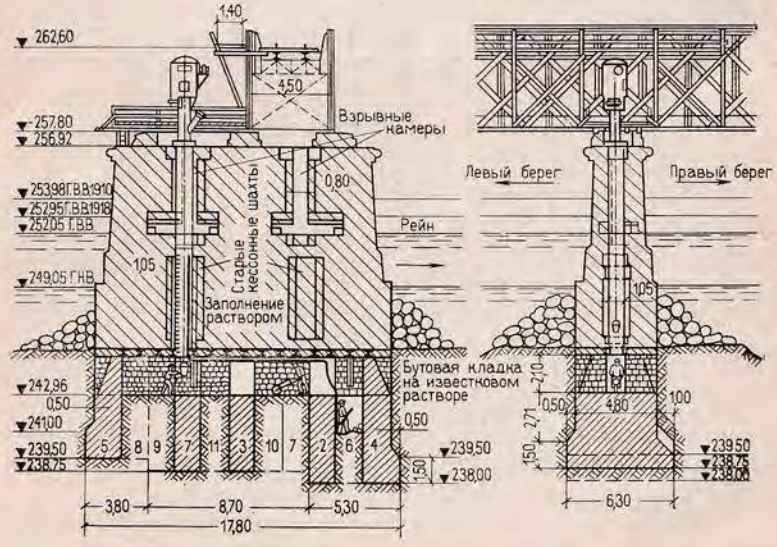
Способы укрепления фундаментов. Укрепление кладки фундаментов ведется так же, как описанное выше усиление стен каменных памятников. Если укрепление стен необходимо вести преимущественно инъекцией в них более прочного раствора, то при укреплении фундаментов допускаются и инъекция, и перекладка. Для этих работ следует применять более прочные растворы, не обращая внимания на их цвет. Укрепленную или замененную кладку фундаментов (ниже поверхности земли) желательно оштукатурить цементным раствором. Работы по укреплению фундаментов стен на небольшую глубину ведутся отдельными захватками длиной примерно в 20 м, а под пилонами — не более чем с одной стороны.

Подводка фундаментов столбами в колодцах. При слабом грунте с коэффициентом фильтрации менее 0,5 м/сут или при

культурном слое, если их толщина не превышает 2,5—3 м, рекомендуется подводку фундаментов производить столбами в отдельных колодцах, создавая заглубленный ленточный фундамент. Для этого ленточные фундаменты в плане разбивают на отдельные участки и работы ведут не менее чем в шесть очередей, а чаще всего в восемь очередей. Длина каждого участка подводки должна быть не менее 1,25 м, так как этот размер отвечает производственным требованиям: при меньших размерах резко возрастают трудности из-за неудобств в производстве работ. Кроме того, при такой длине колодца, если прочность раствора кладки фундамента имеет 0,005 кН/см^2 и более, не происходит вываливания камней. Ширина подводки должна быть не менее ширины подошвы фундамента и соответствовать нормативному давлению на новое основание.

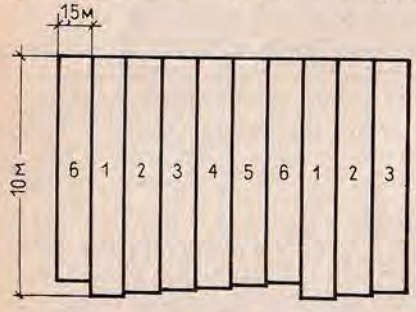
До последнего времени в иностранной литературе рекомендовался порядок очередности работ по подводке фундаментов, показанный на рис. 28. В этом случае вторая очередь столбчатого фундамента должна располагаться не рядом с только что подведенным столбом, а через несколько очередей. При таком порядке возможны большие осадки сооружений, под которые подводятся фундаменты.

На первых же объектах Метростроя под руководством автора в 1931 г. были начаты экспериментальные работы с целью сведения осадок к минимуму. На основе полученных результатов в 1933 г. было решено рекомендовать последова-



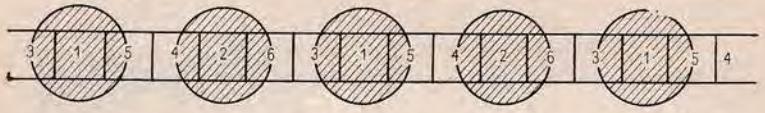
28. Очередность подводки фундаментов столбами в колодцах под быком старинного моста (по иностранным источникам)

тельный порядок (рис. 29). На рис. 30, где показана очередность подводки, рекомендуемая в иностранной литературе, видно, что после проходки колодцев второй очереди (при шести очередях) площадь разрыхленного грунта достигает $\frac{100}{6}4=$ $=66{,}66\%$ всего подводимого участка фундамента, а при соблюдении очередности подводки, показанной на рис. 31, — $\frac{100}{6}3=50\%$ (зоны разрыхленного грунта на рис. 30 и 31 заштрихованы). Действительно, при глубине подводки в слабых грунтах колодцами с креплением до 3 м, зона разрыхления распространяется в каждую сторону от проходимого колодца на расстояние, равное примерно половине длины участка проходки [9].

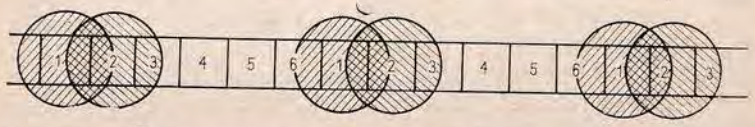


29. Очередность подводки фундаментов, предлагаемая автором

Чем больше заглубление подводимых фундаментов, тем дальше будет распространяться зона разрыхления и, следовательно, тем большее значение приобретает рекомендуемый нами порядок производства работ. Применение в дальнейшем новой очередности при



30. Зоны разрыхления грунта при ранее применявшейся очередности



31. Зона разрыхления грунта при очередности, предлагаемой автором

подводке фундаментов под многими памятниками позволило довести осадки в период производства работ до 30 мм, тогда как при старом способе они достигали обычно 40—60 мм. Можно произвести подводку фундаментов и безосадочно, но для этого требуется предварительное вывешивание здания. Для вывешивания нами применяются поперечные балки.

Заглубление колодцев второй и последующих очередей не следует доводить до основания уже заложенного столба предшествующей очереди во избежание разрыхления под ним грунта.

В песчаных грунтах при производстве работ выше уровня грунтовых вод рекомендуется для каждой последующей очереди уменьшать заглубление на 10 см (рис. 29). Даже при весьма тщательной проходке незначительное разрыхление сыпучих и слабых грунтов за стенами колодца все же неизбежно.

Несмотря на то что рекомендация автора была опубликована еще в 1936 г., в некоторых трудах, посвященных основаниям и фундаментам, все многие годы еще продолжали рекомендовать заимствованный из иностранных источников старый порядок очередности производства работ по подводке фундаментов [45].

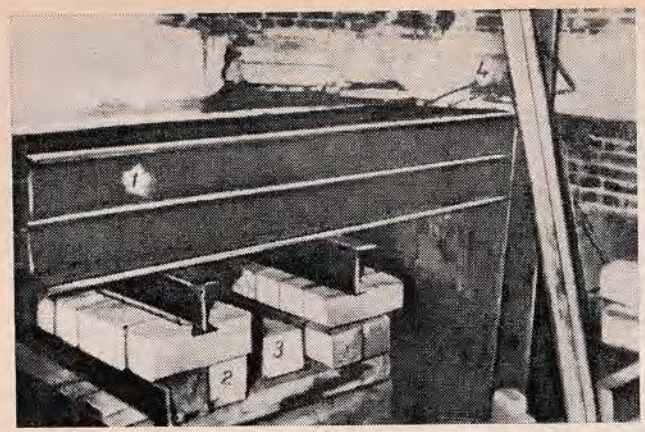
Опыт производства работ доказал также желательность применения других вспомогательных конструкций (рандбалок, поперечных балок, подкосов), облегчающих работу и снижающих осадку при подводке фундаментов столбами в колодцах.

За рубежом до последнего времени в качестве одного из мероприятий, снижающих осадку сооружения в период подводки фундамента, также рекомендуется применение вспомогательных конструкций — устройство ростверков или подкосов. При подводке фундаментов под высокие памятники применяют конструкции подкосов из очень длинных труб. Для возможности установки подкосов с предварительным напряжением их опирают на гидравлические домкраты.

Однако применение подкосов более эффективно для сооружений с большими нагрузками и небольшой высотой, до 20 м (см. рис. 14). При их установке необходимо завести в швы кладки уголки, прикрепить к ним стойки и упереть в них подкосы. Благодаря такому креплению стены памятника не уродуются. Для здания высотой 10 м и более целесообразнее применять, как было сказано, поперечные балки или рандбалки, так как трудоемкость работ по установке подкосов при большой высоте резко возрастает.

Поперечные балки заводят поперек стены ближе к ее основанию — ниже поверхности земли. Для их установки в стенах пробивают сквозные гнезда. Концы балок опирают на шпальные клетки (рис. 32), одну из которых собирают снаружи, а другую — внутри здания. Если нужно поддержать угол здания, то обе клетки располагают с внешних сторон здания. Чтобы при передаче давления на поперечные балки здание не давало осадок, клетки устанавливают с предварительным напряжением гидравлическими домкратами, которые размещаются под концами балок и опираются на шпальные клетки.

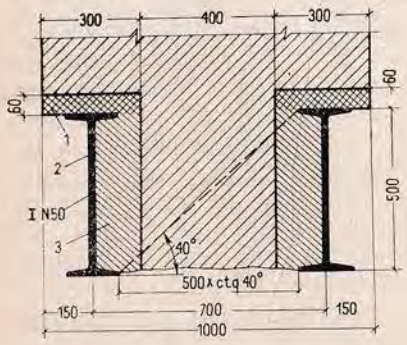
Рандбалки, как правило, применяются самостоятельно, без поперечных балок. Рандбалки предупреждают выпадение отдельных кирпичей из слабой кладки при проходке под ней шурфа и перераспределяют нагрузку от стены над колодцем, находящимся в проходке, на смежные с ним участки. Охваты-



32. Поперечная балка для вывешивания стены

1 — поперечная балка; *2* — шпальная клетка; *3* — поддомкратная балка; *4* — дощатая прокладка между рандбалками и поперечной балкой

вая с двух сторон здания, рандбалки одновременно укрепляют памятник, кроме того, при этой конструкции осадки в период подводки фундаментов снижаются и становятся более равномерными. По указанным соображениям и учитывая, что рандбалки создают по низу стен армированный пояс и что последние после подводки фундаментов не извлекаются, их целесообразнее применять, чем поперечные балки. Чтобы не нарушать каменную кладку памятника, рандбалки заводят с внутренней стороны на уровне или ниже пола подвала, а с внешней — ниже поверхности земли. Обе рандбалки одной стены устанавливают на одной вертикальной отметке; через каждые 2,5—3 м их связывают между собой поверху и понизу приваркой арматурной стали. Высоту рандбалок из двутавров рекомендуется применять не менее 0,4 от толщины стены (рис. 33). При образующихся после выемки грунта пролетах рандбалок в 4 м и более (в зависимости от прочности раствора кладки) последние получают прогиб от приходящейся сверху нагрузки. Обычно прогиб рандбалки сопровождается образованием в стене на некоторой высоте над ней горизонтальной трещины. Чтобы такие трещины не образовывались, рандбалки, пролеты которых превышают указанный выше размер, должны устанавливаться с предварительным напряжением, с заблаговре-



33. Рандбалки, заведенные в стену

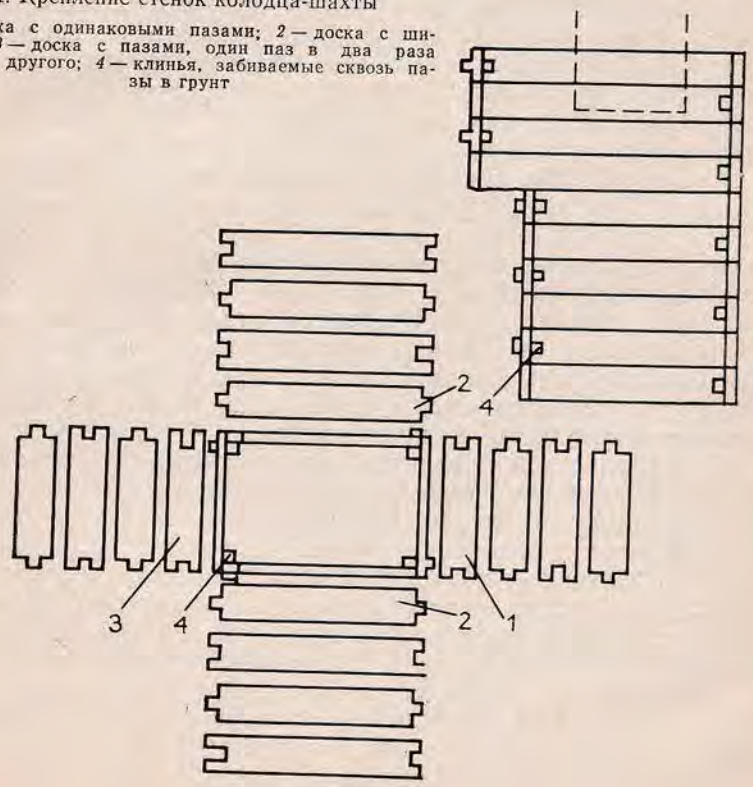
1 — заклинка; *2* — двутавр; *3* — раствор за стенкой двутавра

менной придачей балке обратного прогиба. Необходимый определенный расчетом прогиб может быть придан балке путем забивки стальных клиньев между верхней полкой рандбалки и верхом штрабы в кладке. Чтобы не произошло смятия полок рандбалки и кирпичной кладки, в местах, где предполагается забивка стальных клиньев, заблаговременно укладывают две стальные пластинки с одним клином между ними. Клин укладывают так, чтобы его тонкий конец приходился к внешней стороне и тем самым позволил бы вставить туда второй клин, который и забивается. Обычно заблаговременно на верхнюю пластинку укладывается слой раствора со слабым прижатием ее клином. Когда раствор окрепнет, приступают к забивке поочередно всех клиньев.

Большим осадкам обычно предшествуют определенные симптомы. Осадки происходят чаще всего вследствие несоблюдения принятой последовательности в выемке грунта и установке креплений. Рекомендуемое крепление показано на рис. 34. Иногда с целью ускорения работ сначала выбирают грунт под несколько венцов креплений, а затем ставят креп-

34. Крепление стенок колодца-шахты

1 — доска с одинаковыми пазами; *2* — доска с шипами; *3* — доска с пазами, один паз в два раза глубже другого; *4* — клинья, забиваемые сквозь пазы в грунт



ление. При выемке сыпучего грунта такой метод работ недопустим. При извлечении сыпучего грунта в один прием следует ограничиваться такой глубиной, которая необходима для заведения только одного венца крепления. Вынутый для этого грунт сначала складируют в центре колодца, а после установки венца выдают наверх.

Подведение фундаментов на большую глубину в сыпучих и слабых грунтах требует частой проверки качества работ и ежедневного геодезического наблюдения за осадкой сооружения. При появлении деформаций важно установить причину их образования. Сохранность сооружений в этот период и ограничение размера осадок возможны лишь при наличии достаточно опытного в этой области технического персонала и рабочих.

Начатые под стенами здания земляные работы в сыпучих грунтах следует вести круглосуточно, без перерывов, впредь до заполнения колодца кладкой. Так, например, когда при подводке фундаментов под стену одного из домов разошелся стык чугунного раструба водопроводной трубы (трубопровод залегал примерно посередине между наружной гранью стены дома и границей призмы обрушения от проходимого колодца) и вода стала проникать в колодец, то только благодаря проходчикам, работавшим в это время в колодце, течь была своевременно обнаружена и ликвидирована. Этот пример говорит еще и о том, как важно до начала работ по подводке фундаментов установить, какие действующие подземные коммуникации проходят вблизи укрепляемого памятника.

Данный способ подводки фундаментов может применяться выше уровня грунтовых вод, либо после предварительного искусственного водопонижения.

Необходимо подробнее рассмотреть вопрос о целесообразном числе очередей при подводке фундаментов столбами в колодцах. Надо отметить, что кроме рандбалок, которые желательно использовать при данном способе подводки, никакие другие вспомогательные конструкции, такие, как подкосы или поперечные балки, не применяются.

Шесть очередей подводки можно считать оптимальным числом. Иногда при подводке фундаментов в шесть очередей можно завершить работу с меньшими осадками, чем при большем числе. В первую очередь это зависит от грунтов. Большое значение также имеет непрерывность в производстве работ. Чем быстрее ведется работа по подводке фундамента, тем, как правило, меньше осадки. Поэтому рекомендуется подводку фундаментов вести три рабочие смены подряд и без выходных дней. Поскольку ночная смена обычно менее продуктивна, в это время следует завершать не законченные днем основные работы и вести подсобные работы — доставку материалов, ремонт механизмов и очистку территории.

Подводку фундаментов столбами в колодцах для наружных стен следует вести с внешней стороны сооружения. В этом случае форшахту до требующейся отметки основания выкапывают экскаватором. Это значительно уменьшает трудоемкость работ. Под внутренними стенами и под пилонами памятника работы ведутся из подвала подклети. При подводке фундаментов столбами в колодцах под отдельными пилонами, последние могут дать значительную осадку. Чтобы этого не произошло, фундаменты под пилоны сначала обязательно разгружают постановкой подкосов или заводкой поперечных балок. В обоих случаях применяют домкраты и разгружают пилон настолько, насколько уменьшается несущая способность основания при подводке очередного столба.

Для заполнения колодцев правильней всего применять бутобетон. Экономически, когда поблизости отсутствует бетонный завод, а имеется карьер бутового камня, может оказаться целесообразней каменная кладка. Однако кладка должна вестись не под залив, а только под лопатку.

Новое основание, на которое опирают заглубленные столбы фундамента, принимая дополнительную нагрузку от стен памятника, даст некоторую осадку, величина которой зависит в основном от классификации грунта, процента его, влажности и коэффициента пористости. По грунтам естественной влажности методом послойного суммирования устанавливают, какое дополнительное напряжение получит новое основание после подводки фундаментов. Затем, определяя существующий коэффициент пористости грунта и, пользуясь стабилометром, устанавливают, на сколько уменьшится коэффициент пористости при увеличенном напряжении после догрузки.

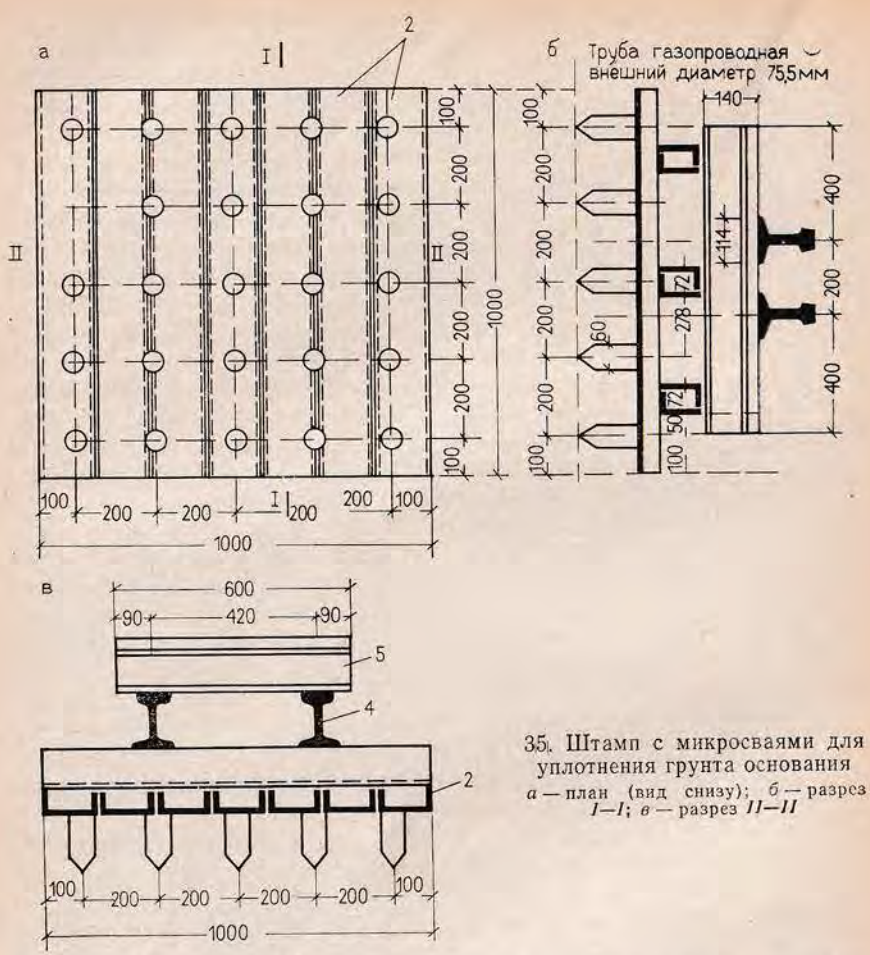
Так, при подводке фундамента под Северной малой мечетью Биби-ханым было определено, что первоначальный коэффициент пористости лессовых грунтов на глубине 3 м составляет 0,863, а после передачи дополнительно давления коэффициент пористости должен составлять 0,819, т. е. на 0,044 меньше. В этом случае для уменьшения коэффициента пористости вдавливаем в основание 200-тонным гидравлическим домкратом, упертым в подошву фундамента, соответствующее число микросвай, прикрепленных к штампу (рис. 35). Эти микросваи должны занимать в плане следующую относительную площадь:

$$0{,}044 : 0{,}00863 = 5{,}1\%.$$

При внешнем диаметре микросвай в 6 см (газовые трубки диаметром 2″) на 1 м² потребуется

$$510 : \frac{3{,}14 \cdot 6^2}{4} = 18 \text{ шт.}$$

Чтобы вдавить эти сваи в грунт, потребовалось усилие в



35. Штамп с микросваями для уплотнения грунта основания
а — план (вид снизу); *б* — разрез *I—I*; *в* — разрез *II—II*

150 т. В том случае, когда целесообразно применять домкрат в 200 т и симметричное расположение микросвай, по обеим сторонам квадрата в 1 м² устанавливается по 5 микросвай на каждой стороне. Всего потребуется 5×5=25 микросвай. При таком числе микросвай коэффициент пористости снизится, что видно из следующего расчета. Одна микросвая занимает площадь $\frac{3,14 \cdot 6^2}{4} = 28,3$ см². Площадь 25 микросвай соответственно составит: 28,3·25=707 см², что соответствует 7,07% от 1 м², таким образом, коэффициент пористости должен уменьшиться на 7,07×0,00863=0,061, т. е. коэффициент пористости грунта снизится с 0,863 до 0,863—0,061=0,802.

Платформа (штамп) устраивается из семи швеллеров № 14 (рис. 35). Все швеллеры свариваются между собой по-

низу и поверху. Диаметр домкрата 2000 кН (марка ДГ-200-2) понизу 26 см.

Максимальное давление принимается 1500 кН.

Расчет швеллера № 14. Нагрузка на одну микросваю диаметром в 6 см составит $\frac{150}{25} = 60$ кН.

$$M = 6 \cdot 0,05 = 3 \text{ кН·м}; \quad W_1 = 11 \text{ см}^3;$$

$$\sigma_1 = \frac{5 \cdot 30\,000}{7 \cdot 11} = 19,5 \text{ кН/см}^2 < 21 \text{ кН/см}^2.$$

Уголки 125×80×10 располагаем нормально к швеллерам, рассчитывая уголки на изгиб.

Размер консоли:

$$\frac{100}{2} - 30 - \frac{11,4}{2} = 15 \text{ см};$$

$$M = 60 \cdot 15 \cdot 5 = 4500 \text{ кН/см}.$$

Сечение состоит из двух уголков, составленных в виде прямоугольника:

$$j = (312 + 19,7 \cdot 2,11^2)\,2 = 797,2 \text{ см}^4;$$

$$W_2 = \frac{797,2}{6,25} = 127 \text{ см}^3; \quad \sigma_2 = \frac{4500 \text{ кН}}{127,2 \cdot 2} = 17,6 < 21 \text{ кН/см}^2.$$

Если колодец имеет другие размеры, то, пользуясь приведенными выше методами расчета коэффициента пористости и платформы, можно запроектировать соответствующий штамп.

Глубина уплотнения — длина микросвай — зависит от нескольких причин. Вначале по методу послойного суммирования (СНиП II-15-74) определяют глубину сжимаемой толщи грунта. Для вдавливания штампа (платформы) в грунт на всю длину микросвай на платформе устанавливают трубу необходимой прочности, на этой трубе — домкрат, который через толстый стальной лист с уложенным сверху для выравнивания слоем раствора, передает нагрузку на подошву фундамента. Надо иметь в виду, что вся старая слабая кладка фундамента предварительно убрана. Напряжение в кладке над домкратом определяют тем же способом, как и при подводке фундаментов вдавливаемыми сваями (см. ниже). После окончания вдавливания платформу извлекают, а образовавшиеся от свай в грунте вертикальные каналы заполняют цементным раствором.

Пример подводки фундаментов столбами в отдельных колодцах под стены Успенского собора в Рязани, выполненный по проекту и под руководством автора, описан в гл. VII п.2. Работы велись в две смены. Производителями работ были инженеры П. Д. Самсонов, С. И. Ермилов и А. А. Шумилин[1].

[1] Инженер Б. В. Володский, приписавший себе участие в этих работах, поступил в проектную мастерскую после выполнения всех основных работ [35].

Интересно сопоставить этот проект с ранее предложенным проектом инж. С. И. Гринберга. Из-за большой ширины фундамента подводка предусматривалась сначала с внешней стороны до оси стены, а потом с внутренней — до стыковки с подведенным столбом, что недопустимо. Очередность подводки была принята «вразнобой». Кроме того, глубина подводки определялась нижними отметками ранее забитых свай «частоком». При несвязанных песчаных грунтах для придания основанию предварительного напряжения вместо задавливания в грунт платформы с микросваями, из-за вероятности заполнения рыхлым грунтом приямков от свай после поднятия платформы применяется другой способ. Непосредственно на основание ставится штамп, на него устанавливается труба и выше — домкрат и наддомкратная балка. При наличии рандбалок наддомкратную балку располагают поперек стены и прижимают снизу к рандбалкам. После придачи основанию необходимого предварительного напряжения сваривают трубу с наддомкратной балкой, убирают домкрат и закладывают колодец. Порядок производства этих работ изложен ниже.

Осадки памятника, под стенами которого подводят фундаменты, обычно начинаются после устройства колодцев (шахт) для вторых очередей. Можно значительно снизить осадки, если при подводке фундаментов применить микросваи для уплотнения нового основания или произвести вдавливание столба, не прикасающегося к стенам шахты, домкратом с усилием, в 2 раза большим по сравнению с предстоящей нагрузкой. Такую же удвоенную нагрузку следует принять и для вдавливания последующих отдельно сложенных столбов второй и третьей очередей. Таким образом, для второго и последующего колодцев участок основания под столб получается уже разгруженным, а следовательно, дальнейшее обнажение его основания не вызовет осадки. Если не использовать не прикасающегося к стенам шахты столба и домкрат устанавливать непосредственно на полностью заполненном бетоном колодце, то нагрузка от домкрата в большей степени уходит на преодоление трения между кладкой колодца и его боковыми стенами.

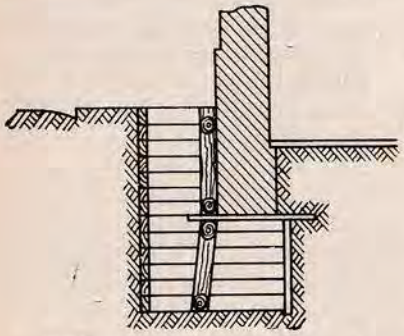
Подводка сваями. При большой глубине (более 3 м) подводка ленточного фундамента столбами в колодцах менее экономична и, главное, трудоемка. Поэтому для удешевления, ускорения и облегчения работ устраивают свайные фундаменты. Сваи могут располагаться с обеих сторон стен здания, образуя так называемые, выносные сваи; непосредственно под стенами — вдавливаемые сваи; и, кроме того, существуют корневидные сваи, представляющие собой часто расположенные козловые сваи малого диаметра и с малым углом наклона, устраиваемые бурением сквозь фундамент и далее в грунте.

Выносные сваи располагаются с двух сторон фундамента. Эти сваи устраиваются буровым способом в скважинах диаметром не менее 250 мм (по системе инж. Страуса). Сваи делают бетонными или железобетонными. При обсадке трубами (ниже горизонта грунтовых вод) нижний открытый конец имеет режущее кольцо, снабженное зубьями (фрезой), которыми при поворачивании трубы разрезают подстилающий грунт. Из обсадных труб во время их погружения грунт извлекают разными напарьями или грейфером. Следует вести бурение и устраивать сваи с помощью станков: у внешних сторон наружных стен агрегатом «Беното» и др.; в подвальных помещениях — роторными станками типа «Крелиус» и др. Бурение можно вести и без обсадки под глинистым раствором, обеспечивающим устойчивость стен скважины. Набивку свай бетоном (пескобетоном) проще всего вести пневматической подачей последнего в скважину (можно также использовать растворонасос). Погружение труб вблизи здания и под ним желательно вести без сотрясения, поэтому не рекомендуется применять виброударное оборудование. Главный недостаток этого способа подводки заключается в том, что при бурении грунт не уплотняется и что объем вынутого из скважины грунта при наличии плывунов превышает объем, занимаемый трубами. Последнее вызывает осадку здания. Другой недостаток этого способа — в необходимости устройства поперечины, опирающейся на парные сваи. Перекрепление стен здания к этим сваям обычно ведется без придачи последним предварительного напряжения. Следовательно, здание, установленное на сваи, не получившие предварительного напряжения, в дальнейшем получит небольшую осадку за счет упругого сжатия грунта, кладки стены и бетона сваи.

Вдавливаемые сваи. Этот способ состоит в непосредственном вдавливании домкратом под фундаментом коротких звеньев стальных труб, сращиваемых между собой по мере вдавливания сваркой. Внутритрубное пространство заполняется бетоном. Преимущество этого способа состоит в том, что, во-первых, известно усилие, приложенное на сваю при ее вдавливании; во-вторых, при вдавливании сваи с закрытым наконечником уплотняется примыкающий к ней грунт, что увеличивает ее несущую способность; в-третьих, упрощается передача нагрузки от стены на сваю с предварительным напряжением (без подъема от упругой отдачи); в-четвертых, по сравнению с предыдущим способом не требуется поперечин и, как правило, обходятся в 1,5 раза меньшим числом свай.

Вдавливаемые сваи без извлечения грунта из труб для подводки фундаментов впервые были применены в СССР автором в 1941 г. в Москве. Имеется большой положительный опыт применения таких свай для насыщенных водой слабых грунтов при подводке фундаментов под разными соображениями. В настоящее время эти сваи применяют при подводке фундаментов под стенами Потешного дворца в Кремле.

Для вдавливаемых свай делают форшахту глубиной 1,7—1,8 м ниже подошвы фундаментов и далее убирают грунт из-под подошвы фундамента, т. е. устраивают шахту не менее чем до низа форшахты. Обычно форшахта имеет размер в плане 1,25×1,25 м и крепится с трех сторон. Размеры выемки грунта вглубь по горизонтали под фундаментом устанавливают исходя из того, что свая должна располагаться под центром фундамента, т. е. расстояние от внешнего края фундамента до центра сваи должно соответствовать половине ширины подошвы. К этому размеру добавляется половина диаметра сваи и еще 40 см для проведения сварочных работ вокруг нее. При фундаментах шириной более 1,5 м, если напряжения в кладке не превышают расчетные, то под частью фундамента грунт не убирается. Длина шахты вдоль стены памятника должна определяться из следующего расчета: диаметр сваи +2·40 см. При наиболее употребительном диаметре свай в 325 мм это составит примерно 1,2 м. Однако чаще всего длина шахты равна длине форшахты, но не менее длины наддомкратной балки. При одинаковой длине форшахты и шахты ниже подошвы фундамента применяют общее дощатое крепление в виде замкнутого прямоугольника (рис. 36).



36. Крепление форшахты и шахты

Так, в Сумгаите (Азербайджанская ССР) для подводки фундаментов вдавливаемыми сваями под тяжелое здание (по проекту и под руководством автора) применили сваи из труб диаметром 426 мм. Производителем работ на этом объекте был инж. Д. К. Агаев, который наряду с отработкой способов работ внес много нового в систему регулировки домкратов.

Минимальная глубина шахты определяется исходя из необходимости создать хорошие условия для работы, т. е. примерно 1,75 м, в такой шахте можно разместить первый обрезок сваи — наконечник, домкрат и наддомкратную балку. Последняя служит распределителем нагрузки от домкрата на необходимую площадь в подошве фундамента. Высота этой наддомкратной балки зависит от марки каменной кладки фундамента и нагрузки на сваю. Если грунтовые воды этому не препятствуют, то стараются использовать как можно более длинные отрезки труб, чтобы сократить число стыков, по длине сваи. Для этого на дне шахты выкапывают еще и яму такого диаметра, в которой может уместиться только труба. Обычно такая яма без креплений делается глубиной 1 м. Первое звено трубы соответственно удлиняется. Так, при минимальной глубине шахты в 1,5 м при глубине ямы в ней 1 м, высоте домкрата 0,5 м и наддомкратной балки 0,5 м получим, что первый обрезок трубы может иметь 1,5+1—0,5—0,5=1,5 м. Труба имеет наконечник специальной конструкции с закрытым низом (рис. 37). Это необходимо для того, чтобы свая во время вдавливания не заполнялась грунтом и не отклонялась от принятого направления, так как при этом способе в отличие от забивки свай копром нет направляющих: неточность в заострении конического наконечника и небольшая внецентренность от домкрата (не говоря уже о возможном наличии камней в грунте) вызывает немедленное смещение в сторону, начиная с первого звена сваи.

Принятый для этой цели наконечник за счет наличия в нем выступов и впадин при погружении вдавливанием обеспечивает стабильность заданного направления. В качестве примера можно привести расчеты, сделанные автором при подводке фундаментов Потешного дворца в Московском Кремле.

Подводку фундаментов в Потешном дворце целесообразно было вести из подвала, так как он заглублен ниже поверхности земли более чем на 6 м, а подошва фундамента расположена ниже пола подвала всего на 60 см.

Нагрузка на отдельные участки подошвы фундамента разная и составляет от 50 до 85 т на 1 пог. м. При расчете учитывалось, что со временем труба сваи будет коррозироваться и нагрузку будет нести только железобетонное заполнение.



37. Первое звено вдавливаемой трубы сваи со специальным наконечником

Следует заметить, что многие специалисты считают, что коррозии подвержен только внешний слой металла толщиной 3—4 мм и что образующаяся при этом пленка не только предохраняет металл от дальнейшего проникания коррозии, но и, увеличиваясь в объеме, уплотняет примыкающий к свае грунт.

Для устройства свай часто бывает целесообразным вынуть часть фундамента ниже пола подвала, обычно сложенного из рваного известняка. Высоту разобранной части фундамента ниже пола подвала целесообразно использовать для наддомкратной балки и тем самым уменьшить глубину шахты под ней. Это весьма существенно, так как если стены первых участков подводки не вывешиваются на поперечные балки, то здание получает минимальные осадки.

Разработка грунта обычно ведется бадьями с тельфером. Исходя из трудоемкости этих работ, следует считать целесообразным — как можно реже располагать сваи, тем самым увеличивая их несущую способность.

Что же касается выбора диаметра сваи, то это зависит не только от того, какую нагрузку должна нести свая, но и от прочностных показателей кладки фундамента, и от грунта, в который свая будет вдавлена. Учитывая, что насыпные грунты слоем до 12 м под фундаментами Потешного дворца подстилаются напластованием разнозернистых песков и ниже карбонными глинами, а также то, что опытная свая была вдавлена в пески примерно на 2 м, для данного объекта на участках, где нагрузка превышает 600 кН на 1 пог. м, были рекомендованы сваи диаметром 351 мм (с толщиной стенки 12 мм), а там, где нагрузка менее 600 кН на 1 пог. м, были рекомендованы сваи диаметром 299 мм (толщина стенки 12 мм). Сваи при диаметре 351 мм могут нести нагрузку не менее чем 2400 кН, а при диаметре 299 мм — 1850 кН. Труба заполняется бетоном М=4 кН/см² (расчетное сопротивление 1,7 кН/см²) и дополнительно армируется. Сваи располагаются на расстоянии 2—3 м одна от другой. Трубы диаметром 351 мм вдавливаются в грунт с силой в 2750 кН, а трубы диаметром 299 мм—2100 кН.

Расчет на прочность материала трубы сваи диаметра 351 мм из стали марки 20.

$$F_1 = \frac{3{,}14\ (35{,}1^2 - 32{,}7^2)}{4} = 125\ \text{см}^2 \quad \text{(при нагрузке на сваю 2750 кН)*};$$

$$\sigma = \frac{2750}{125} = 22\ \text{кН/см}^2.$$

Такое напряжение на время вдавливания следует считать максимальным, так как обычно имеет место некоторая внецентренность. Для увеличения несущей способности внутритрубного заполнения в сваю при ее бетонировке вставляем десять прутьев арматуры класса А-III диаметром 18 мм:

$$P_2^{\text{I}} = \frac{3{,}14 \cdot 32{,}7^2}{4} \cdot 1{,}7 + 25{,}45 \cdot 34 = 2400\ \text{кН};$$

$$P_2^{\text{'I}} = \frac{3{,}14 \cdot 27{,}5^2}{4} \cdot 1{,}7 + 25{,}45 \cdot 34 = 1865 > 1850\ \text{кН}.$$

Расчет на несущую способность грунта. На глубине примерно до 20 м от поверхности земли залегает культурный слой, а ниже разнозернистые и гравелистые пески или карбонные глины. Верх сваи располагается на 6 м ниже поверхности земли. Согласно проведенному эксперименту, вдавливаемая свая проходит в насыпных грунтах до 14 м и еще 2 м ниже отметки залегания разнозернистых песков, так что общая длина сваи составит примерно 16 м. Потери на трение по боковой поверхности сваи не учитываются, так как известно, что при коррозии металла происходит увеличение объема, т. е. с ростом коррозии увеличится и плотность примыкающего грунта.

Фактическое сопротивление при опытной проходке насыпных грунтов, согласно показанию манометра на домкрате, составило примерно 350 кН. Следовательно, сваю грузоподъемностью в 2400 кН желательно вдавливать с усилием в 2750 кН. Осадку можно считать стабилизировавшейся, если она при нагрузке в 2400 кН будет соответствовать упругой отдаче после снятия нагрузки со сваи.

Во время производства работ по вдавливанию работает только труба, так как заполнение бетоном производится после окончания вдавливания. Над всей наддомкратной балкой укладываем бетон М=3 кН/см² с $E^{\text{п}}=0{,}5 \cdot 2350 = 1175$ кН/см² слоем толщиной 40 см. Ширину наддомкратной балки принимаем в 80 см. Балку принимаем из 2 I № 40 и двух листов по 10 мм у балки $J = 40526$ см⁴.

Расчет наддомкратной балки:

$$P_0^{\text{I}} = 2750 \cdot 0{,}3 \sqrt[3]{\frac{1175 \cdot 80}{40526 \cdot 21000}} = 48{,}2\ \text{кН/пог. см},$$

где P_0 — расчетное напряжение на 1 пог. см ширины балки (формула взята из книги Б. Н. Жемочкина [16].

$$\sigma = \frac{48{,}2}{80} = 0{,}6 < 1{,}15\ \text{кН/см}^2,$$

где 1,15 кН/см² — расчетное сопротивление бетона М=3 кН/см².

Необходимая длина наддомкратной балки, по которой распределится нагрузка от свай, составит:

$$L = 3{,}3 \sqrt[3]{\frac{40526 \cdot 21000}{1175 \cdot 80}} = 150\ \text{см}.$$

* Гидравлический домкрат конструкции автора имеет грузоподъемность 3000 кН с принудительным обратным ходом; массу — 1500 кН; ход — 160 мм.

Балка принимается длиной 200 см, так как необходимо, чтобы длина балки соответствовала потребной для распределения нагрузки в кирпичной кладке. При толщине слоя бетона в 25 см нагрузка от наддомкратной балки распределится по длине, равной 150+2·25=200 см. Ширина распределения нагрузки составит: 80+2·25=130 см, что не превышает толщины стены. Напряжение в кирпичной кладке составит:

$$\frac{2750}{200 \cdot 130} = 0{,}105 \text{ кН/см}^2 \sim 0{,}1 \text{ кН/см}^2,$$

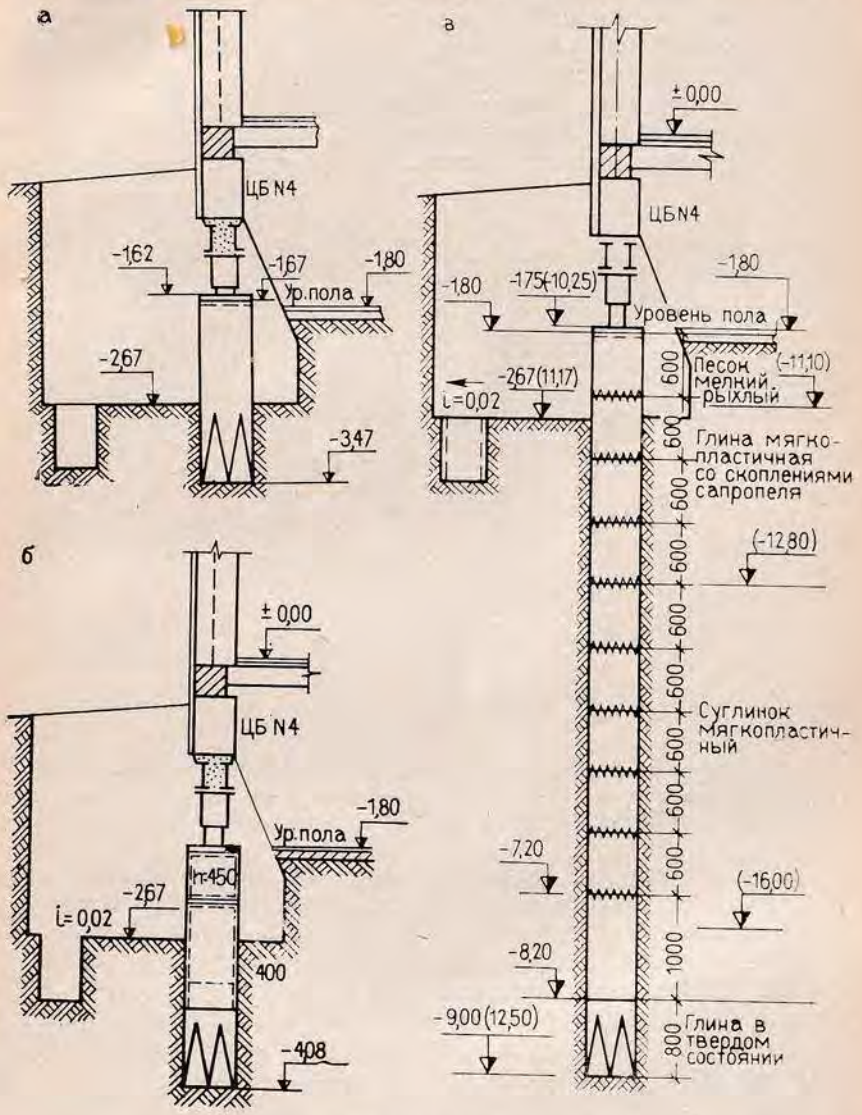
где 0,1 кН/см² — расчетное сопротивление кладки.

Наддомкратная балка устанавливается ниже подошвы фундамента на 70 см. Первая такая балка с обоих концов поддерживается плоскими стальными рамами из швеллеров, опирающимися на дно шурфа. Балку устанавливают строго по уровню, заливают ее бетоном и над ней с уширением кверху до краев подошвы фундамента укладывается бетон. Чтобы бетон был лучше связан с наддомкратной балкой, он по краям армируется, и концы арматуры привариваются к этой наддомкратной балке. Между бетоном и подошвой фундамента оставляют зазор в 5 см, который набивается полусухим цементным раствором по методу чеканки. Все балки соединяются между собой горизонтальной арматурой, выпускаемой с конца установленной наддомкратной балки в сторону следующей наддомкратной балки. Такой же армированный пояс устраивается в бетонном массиве, расположенном над балкой. Эта армировка позволяет обходиться установкой только одной плоской рамы с той стороны, где будет примыкать новая наддомкратная балка.

Далее, от центра наддомкратной балки по отвесу устанавливают первое звено трубы. Поверх трубы кладут блин и на него домкрат поршнем вниз. Когда поршень из домкрата выйдет и прижмется к наддомкратной балке, корпус домкрата в трех местах, буквально одними «точками», прихватывают сваркой к этой балке.

На все время вдавливания домкрат остается висеть над сваей. После выхода всего поршня домкрата последний обратным ходом втягивается в корпус. Затем образовавшийся разрыв заполняют заранее изготовленным компенсатором — «мальчиком» (или толстыми блинами), равным ходу поршня домкрата. Когда разрыв достигнет не менее 0,5 м — высоты наращиваемой обечайки (чем больше позволит шурф, тем лучше), снимают компенсатор и наращивают трубу приваркой следующего звена — обечайки (рис. 38). Когда свая упрется в плотный грунт и давление на нее превысит расчетное на 10%, ее разгружают и определяют упругую отдачу. При повторных нагружениях добиваются того, чтобы упругая отдача от расчетной нагрузки соответствовала размеру осадки,

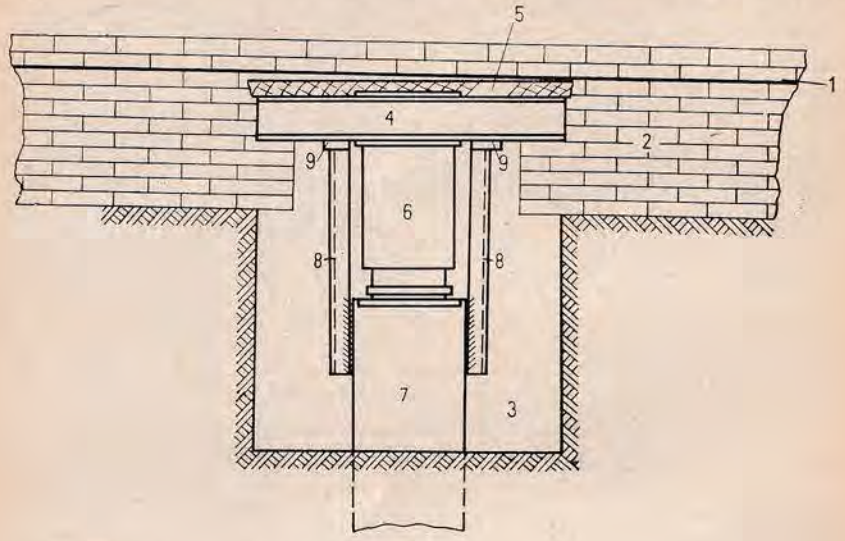
определяя по графику место, где образуется резкий перегиб осадки. Эта точка показывает на нормативное сопротивление сваи. Если свая упирается в плотный грунт, то при осадке, равной упругой отдаче, выдержка нагрузки по времени не



38. Стадии работ по вдавливанию трубы-сваи

а — положение трубчатой сваи перед началом вдавливания, поверх блика установлен домкрат; *б* — положение после установки компенсатора и выхода поршня домкрата: труба вдавлена на ход поршня домкрата; поверх трубы приварена обечайка и вторично вдавлена; *в* — общий вид вдавленной сваи

обязательна. При глинистых грунтах ниже уровня грунтовых вод из-за проникания воды вдоль трубы сваи происходит смачивание основания и со временем снижение ее несущей способности. Исходя из этого, можно рекомендовать при таких грунтах дважды через три дня додавливать сваю. Затем трубу заполняют бетоном и через 12 ч (когда закончится основная усадка бетона) выравнивают полусухим бетоном заполнение трубы вровень с ее верхом и приступают к вводу в работу сваи с предварительным напряжением. С этой целью с каждой стороны трубы под наддомкратной балкой приставляют вертикально по одному швеллеру (рис. 39). Через них пе-



39. Перекрепление вдавленной сваи с предварительным напряжением
1 — уровень пола подвала; *2* — фундамент; *3* — шахта; *4* — наддомкратная балка; *5* — заклинка; *6* — домкрат; *7* — свая; *8* — швеллеры; *9* — клинья

редают нагрузку на сваю временно — до обетонирования наголовника. Для этого торец каждого швеллера прижимают к наддомкратной балке, а его нижнюю часть, опущенную на необходимую длину ниже верха сваи, в это время приваривают к свае. Далее опять придают свае нормативную нагрузку — воспринимают упругую отдачу и в образовавшиеся разрывы между верхом швеллеров и наддомкратной балкой забивают стальные клинья. После падения давления в домкрате до 20% за счет передачи забивкой клиньев нагрузки на швеллеры приваривают все прокладки (клинья) к наддомкратной балке. Затем спускают давление в домкрате и, втянув поршень обратно, отрывают (забивкой зубила в зазор между домкратом и балкой) ранее произведенную точечную приварку домкрата

и убирают его. Шурф, включая и наддомкратную балку, — заполняют бетоном марки не менее М=1 кН/см².

При подводке фундаментов вдавливаемыми сваями, как и при подводке столбами в колодцах, также приходится, хотя и на меньшую глубину, обнажать подошву фундамента. По этому способу при обычных условиях работы, т. е. при устройстве второго колодца, происходит осадка здания. Чтобы свести осадки к минимуму, рекомендуется либо участить расположение первых трех свай, либо придать им бо́льшую нагрузку при погружении, чтобы они снимали со здания нагрузку, в 1,5 раза бо́льшую, чем приходится на сваю, принимая во во внимание повышенное расчетное напряжение на материалы свай. Последующие по очереди сваи следует располагать справа или слева от первой сваи. При сближении свай против требований расчета необходимо, чтобы каждая из них работала независимо от другой, т. е. могла бы самостоятельно нести приданную ей домкратом нагрузку. Благодаря этому при рытье колодца под вторую сваю либо уменьшится не воспринятая от здания нагрузка, либо уменьшится общая длина обнажения подошвы фундамента. После устройства второй сваи она воспримет на себя и часть нагрузки здания от предстоящей к вдавливанию третьей сваи, а третья — от четвертой и т. д. Исходя из этого, рекомендуется учесть это при проектировании и при учащении свай располагать их на расстоянии не менее 3,5 диаметров одну от другой. Для последующих свай расстояния между ними должны отвечать требованиям расчетной нагрузки, безотносительно от сближения между первыми тремя сваями.

Корневидные сваи. Для их устройства сначала с одной стороны стены под небольшим углом к вертикали просверливают отверстия в фундаменте и далее в грунте до требуемой отметки коренных пород и заполняют их бетоном, устанавливая в центре один металлический прут. Далее под таким же углом, но с другой стороны стены устраивают парные им вторые сваи, создавая козловые сваи, располагая их не в одной плоскости с предыдущими, а со смещением. Преимущество этих свай заключается в том, что при их устройстве не происходит временное ослабление основания, так как не требуется форшахт и шахт с выемкой грунта из-под подошвы фундамента. Для этих свай обычно применяют трубы диаметром 100—200 мм и нагружают каждую сваю до 150—250 кН. В литературе [7] имеется ссылка на применение свай диаметром 219 мм при расчетной нагрузке до 300 кН.

Так, при реконструкции МХАТа для сверления скважин под корневидные сваи применяли специально приспособленные станки СБР-500 (500 об/м) с мотором 24 кВт, производительностью 40 м/смену и компрессор производительностью 6 м³ с давлением до 6 ати. Станок вращает полые штанги, а

сжатый воздух выдувает пыль от разрушающегося камня фундамента и прижимает штанги к напарьям специальным пневмодомкратом, скрепленным со станком. С помощью этих станков можно пробурить любую по прочности каменную кладку, промыть ее водой, при этом вибрация не скажется на прочности здания. Если же кладка фундамента имеет недостаточную прочность, то ее заблаговременно закрепляют инъектированием цементного молока. В просверленное отверстие фундамента диаметром 190 мм вставили трубу и скрепили ее цементным раствором с фундаментом, чтобы можно было по окончании заполнения скважины густым цементным молоком опрессовать скважину. Ниже фундамента бурение велось без обсадки под глинистым раствором (суспензия бентонитовых глин содержит на 1 м³ 1500 Н бентонита и 950 л воды); диаметр скважины 132 мм. Нагнетание глинистого раствора производилось насосом НБ-3-120/40 (производительность 120 л/мин при давлении до 40 ати) через шланги диаметром 1,5″, прикрепляемые к полым буровым штангам. После окончания проходки скважины шланг подачи бентонитового раствора был отсоединен и вместо него установлен шланг подачи цементного молока. Цементное молоко нагнеталось и одновременно извлакались буровые штанги. Цементное молоко состоит из воды, цемента и глины (0,6:1:0,02). Глина придает раствору пластичность, дольше держит цемент во взвешенном состоянии и обеспечивает лучшую проходимость раствора по шлангу.

Нагнетание цементного молока ведется насосом ГР 16/40 или НГР 15/50 (насос геологоразведочный производительностью 15 м³/ч при давлении до 50 ати). После заполнения скважины густым цементным молоком в нее вставляют один прут арматуры диаметром 40 мм и тем же насосом опрессовывают скважину-сваю. Глубина скважины-сваи для здания Художественного театра принята в 17 м. Из них 15 м сквозь фундамент и пески, а ниже в юрской глине. Во время опрессовки происходило увеличение диаметра сваи за счет уплотнения окружающего ее несвязного грунта и наряду с этим уплотнение цементного молока за счет отжатия из него воды. Диаметр сваи значительно увеличивался на участках со слабыми слоями грунта. Объем молока, закачиваемого в скважину, превысил в 1,5 раза ее геометрический объем. Расчетная нагрузка на одну сваю была принята 200 кН.

За одну смену изготавливали две сваи. Стоимость 1 пог. м сваи составила 35 руб. Производителем работ объекта был инж. В. Б. Этин. Проект был составлен трестом Гидроспецстрой. Согласно сметным данным треста Гидроспецстрой, стоимость работ по укреплению зданий корневидными сваями обходится в 2 раза дешевле, чем при закреплении оснований способами инъектирования химикатов.

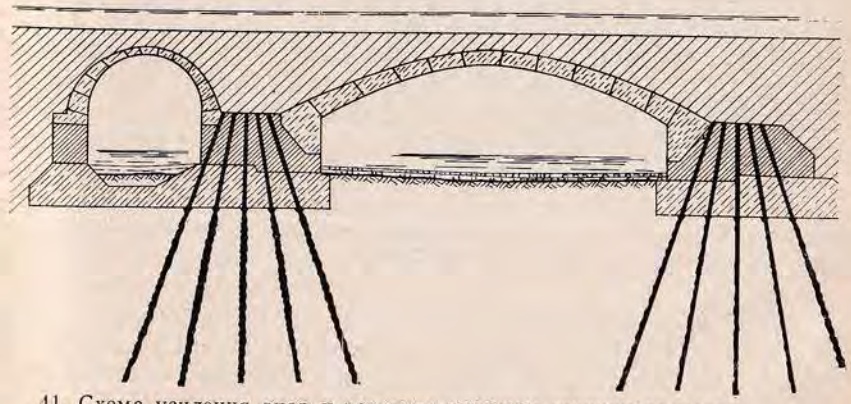
Козловые сваи хорошо сопротивляются горизонтальным силам. Для этих свай ростверком служит сам фундамент. Будучи расположенными ниже поверхности земли, они не влияют на внешний облик памятника. Например, этими сваями была укреплена колокольня Бурано в Венеции (рис. 40). На рис. 41 показана схема усиления опор и верхнего строения старинного моста. Сваи могут быть и вертикальными, если в стене имеются достаточные по размерам проемы, из которых можно произвести бурение.

Несущая способность козловых свай зависит не только от диаметра сваи, но и от диаметра зацементировавшегося без разрыва грунта вокруг сваи. Кроме того, благодаря частому расположению свай они работают вместе с примыкающим грунтом.

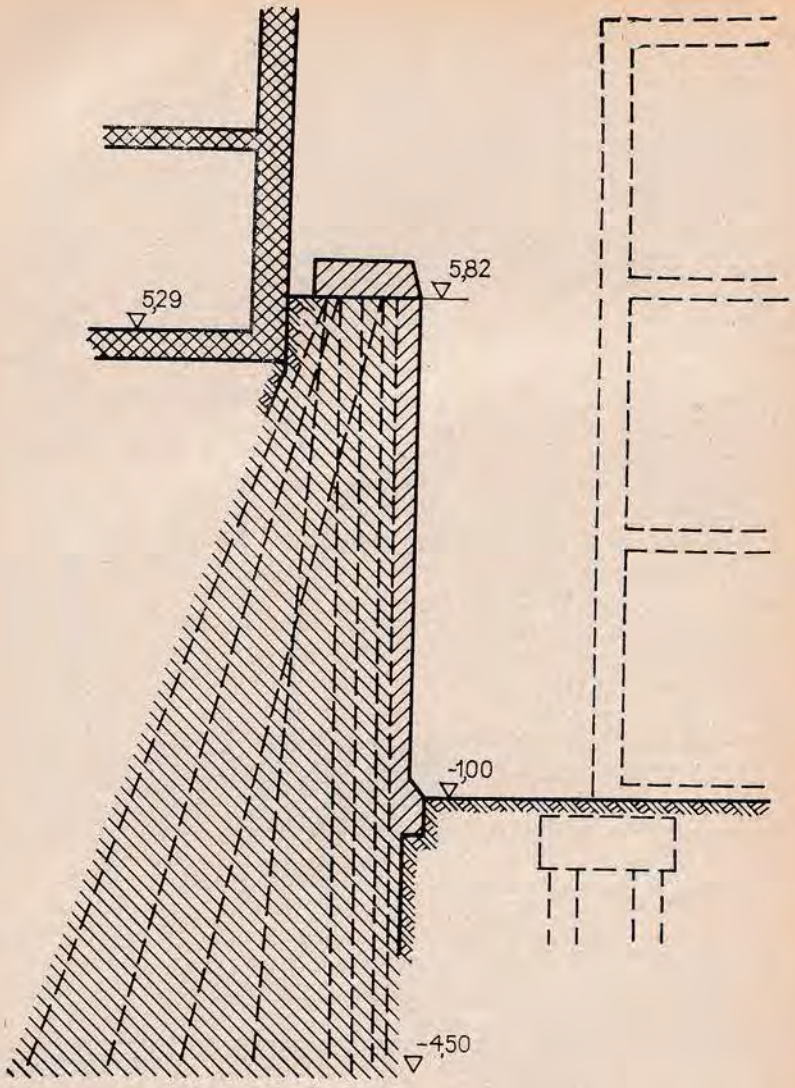
Корневидные сваи целесообразнее применять, если поблизости от существующего памятника необходимо заложить сооружение с глубокими подвальными помещениями (рис. 42). В этом случае сваи будут работать как на вертикальную нагрузку, так и на горизонтальную, играя роль ограждающей стенки. Для подводки фундаментов с нагрузками в 400 кН и более на 1 пог. м фун-



40. Укрепление колокольни Бурано в Венеции. Общий вид. Колокольня после подводки корневидных свай



41. Схема усиления опор и верхнего строения старинного моста



42. Схема укрепления стенок котлована корневидными сваями для строительства здания с более глубоким заложением, чем у близрасположенного памятника

дамента потребуется большое число таких свай. Это, несомненно, окажется дороже, чем редко располагаемые и более прочные вдавливаемые под фундаментом сваи с большой несущей способностью.

Искусственное закрепление грунта [4, 19, 20, 38, 42]. Кроме механических способов укрепления грунтов существуют физико-химические средства. К ним относятся различные химические растворы, глины, цементы, битумы, а также термические способы. Химические продукты, горячие битумы, битумные эмульсии ведут себя как истинные жидкости, а не как суспензии. К применяемым же суспензиям предъявляются требования тиксотропности, иначе они могут быть вытеснены давлением грунтовых вод. Указанными преобразованиями при определенных условиях можно увеличить несущую способность грунтов, а в других случаях повысить их водоустойчивость. Эти способы в отличие от способов подводки фундаментов не требуют вскрытия подошвы фундаментов.

Способ инъекции был изобретен в 1802 г. во Франции инж. Бериньи, успешно применившим цементный раствор для укрепления крупнозернистых грунтов. В 1886 г. впервые использовались силикаты натрия и другие реагенты. В 1887 г. в Германии инж. Джезнорский составил описание способа нагнетания раздельно раствора силиката натрия (жидкого стекла), а затем реактива — раствора хлористого кальция, вызывающего образование геля. В 1909 г. была применена смесь силиката натрия с кислотой. По этому способу получили непрочный, но водонепроницаемый гель. Способ инж. Джезнорского был повторен в 1926 г. инж. Джустеном и известен под именем последнего. Высокая их стоимость заставила добавлять в смесь суспензии бентонит или цемент. В 1927 г. впервые в Германии (инженер Иостен) были закреплены двухрастворным способом висячие концы свай — они располагались в насыщенных водой мелкозернистых песках между водоупорами. В 1933 г. двухрастворный способ был применен в СССР инж. Б. А. Ржаницыным. В 1933 г. с целью увеличения угла внутреннего трения средне- и мелкозернистых песков при подводке фундаментов столбами в колодцах на глубину до 11 м автором книги было применено инъектирование глинистой суспензией. Благодаря предварительному инъектированию за стенки шахты глинистой суспензии разрыхление грунта при очередном заглублении шахты не происходило. В 1938 г. указанный способ был применен инж. Мейером, несколько позже он же применил глиноцементные суспензии. Это относительно дешевые способы.

Соответствующим подбором состава смеси достигается стабильность суспензии, в которую иногда добавляется небольшое количество химикатов. Стабильность считается удовлетворительной, если раствор не имеет седиментации (оседания) во время инъекции, продолжающейся несколько часов. В 1950 г. способ инъекции раствора жидкого стекла с добавкой 2—3% хлористого натрия в лессовые грунты был применен В. В. Аскалоновым. Перед началом основных работ по

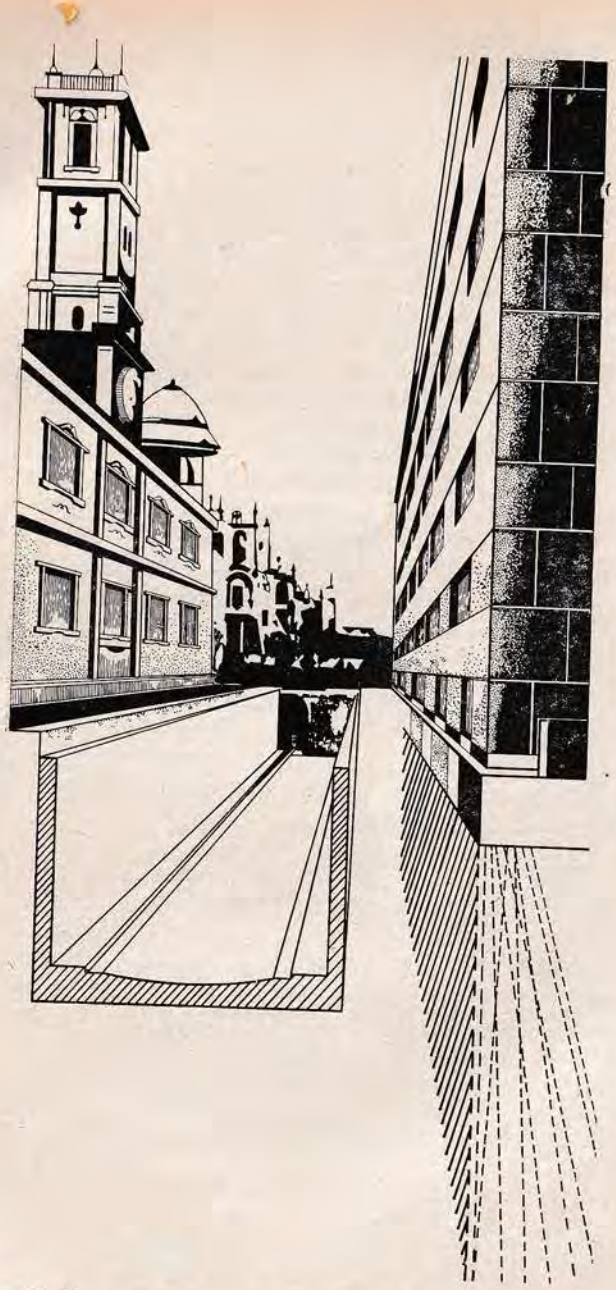
химическому закреплению грунтов на опытно-производственном участке уточняется рецептура гелеобразующего раствора и параметры инъекции.

Двухрастворный способ силикатизации позволяет закрепить песчаные грунты поочередным нагнетанием в них двух химических растворов: силиката натрия (жидкое стекло) и хлористого кальция. Раствор силиката натрия содержит кремнекислые коллоиды, заряженные отрицательно. Нейтрализация этих зарядов вызывается путем добавления положительных коллоидов — образуются сгустки или гели. Долговечность образовавшегося закрепления не установлена, но закрепленный этим способом грунт в виде кубиков, находясь в воде, сохраняет полученную прочность.

Этот способ целесообразно применять только для песчаных однородных и главное имеющих одинаковую пористость грунтов, с коэффициентом фильтрации $K_ф$=2—80 м/сут. Прочность закрепляемого грунта для мелких песков достигает 0,3 кН/см^2, а с увеличением $K_ф$ уменьшается до 0,1 кН/см^2. Последнее объясняется увеличением размеров частиц грунта, а следовательно, уменьшением суммарной их поверхности [19].

Нагнетание жидкого стекла и хлористого кальция производится через инъекторы, забиваемые в грунт с обеих сторон укрепляемого фундамента (рис. 43). Радиус закрепления грунта зависит от коэффициента фильтрации. Так, при $K_ф$=5 м/сут радиус закрепления грунта составляет примерно 40 см, а при $K_ф$=30 м/сут — примерно 70 см. Исходя из установленного опытным путем радиуса закрепления грунта, определяют расстояния между инъекторами. Чтобы получить под фундаментом сплошной массив, нагнетание химикатов следует вести через инъекторы, располагаемые под углом в 50° и более от вертикали. Их устанавливают в шахматном порядке, и расстояния между ними должны составлять 1,73 установленного радиуса.

Закрепление грунта ведется отдельными заходками снизу вверх в том случае, если коэффициент фильтрации грунта с глубиной увеличивается. В однородных грунтах, а также когда $K_ф$ с глубиной уменьшается, закрепление ведется заходками сверху вниз. Следует исходить из правила, что напластования с большим $K_ф$ закрепляются в первую очередь. Если закрепляемый грунт насыщен водой, то порядок нагнетания силикатов зависит от скорости грунтовых вод. Так, при скорости движения грунтовых вод до 2 м/сут сначала нагнетают жидкое стекло через каждые 0,5 м по глубине последовательными заходками сверху вниз, а затем раствор хлористого кальция — снизу вверх. При большой скорости грунтовых вод необходимо заблаговременно устроить водонепроницаемую завесу. Для устройства такой завесы требуется тщательность в



43. Схема «решетчатой» подпорной стены, выполненной при строительстве метрополитена в Милане

производстве работ, поэтому через разные инъекторы, расставленные на расстоянии 0,15 м один от другого, нагнетают одновременно оба раствора.

Перерывы во времени между нагнетанием растворов при скорости грунтовых вод 0,5 м/сут не должны превышать 6 ч, а при скорости 3 м/сут — 1 ч. Применение силикатизации ограничивается скоростью грунтовых вод более 3 м/сут. Растворы должны нагнетаться в грунт равномерно со скоростью 1—2 л/мин при $K_ф$ до 10 м/сут и 2—4 л/мин при $K_ф$ до 30 м/сут. Качество каждого из растворов принимается примерно одинаковое и для каждого из них в 2 раза больше объема закрепляемого грунта. Давление нагнетания должны обеспечивать заданные расходы растворов, но оно не должно быть более 15 ати. Для силикатизации грунтов применяют: насосы для растворов, компрессоры для получения сжатого воздуха в 5—6 ати; пневматические молотки для забивки и извлечения инъекторов; инъекторы, шланги с соединительными элементами и кранами; механические копры для забивки инъекторов; треноги с электроталями для извлечения инъекторов; манометры, ареометры и термометры; тару для приготовления и хранения растворов.

Инъекторы изготавливают из бесшовных труб диаметром от 19 до 38 мм при толщине стенок не менее 5 мм. Перфорированная часть инъектора должна иметь длину от 0,5 до 1,5 м с отверстиями диаметром 1—2 мм. Отверстия располагаются в шахматном порядке из расчета 60—80 шт. на 1 пог. м; с наружной стороны отверстия раззенковываются.

Часто вместо непосредственной забивки инъектора с поверхности земли сначала пробуривают скважину диаметром 89 или 108 мм с обсадкой или без обсадки и в нее забивают инъектор до зоны закрепления.

При двухрастворном способе закрепления песчаных грунтов каждый раствор нагнетается отдельным насосом. Для нагнетания рекомендуются насосные агрегаты НС-3, состоящие из 6 насосов производительностью 5 л/мин каждый. Чтобы инъектируемый раствор не поднимался на поверхность по затрубному пространству, слой незакрепляемого грунта, считая от поверхности, должен быть не менее 2 м.

При последовательном нагнетании растворов инъектор забивают на глубину первой заходки и нагнетают жидкое стекло; далее заглубляют инъектор на вторую заходку и вновь нагнетают жидкое стекло и т. д. После этого инъектор извлекают[1], забивают на его место другой инъектор до глубины последней заходки и нагнетают раствор хлористого кальция; далее по ранее проводившимся заходкам поднимают инъектор и повторяют нагнетание раствора хлористого кальция. Температура грунта, в который нагнетается раствор, не должна быть ниже +1°. Этот способ многократно применялся и давал хорошие результаты при укреплении оснований из пористого песчаного грунта, превращая его в монолит, но не культурного слоя или насыпных грунтов. Насыпные грунты — культурные слои — могут иметь древесные остатки, внутрь которых растворы не проникают, и разную плотность в зависимости от расположения органики, образующей со временем пустоты, заполненные газом. Поскольку такие грунты на разных участках имеют разную плотность, то и радиус распространения химикатов будет различным.

[1] Это делается для промывки без нагнетания воды в грунт.

Даже при небольшой глубине подводки химическое укрепление двухрастворным способом требует меньшего числа рабочих, чем другие способы, но, как правило, обходится не менее чем в 2,5 раза дороже, чем подводка фундамента столбами в колодцах.

При большой глубине подводки не всегда из-за разной пористости грунта даже при одинаковом гранулометрическом составе получается сплошной массив укрепленного грунта. Известны случаи, когда инъектирование вызывало разрыхление основания, а вместе с этим и осадку здания из-за того, что химикаты вместе с грунтом перемещались из-под фундамента в близрасположенный менее нагруженный грунт.

Применение карбамидных смол. Впервые способы закрепления песчаных грунтов синтетическими смолами в СССР были применены в 1954 г. проф. Г. С. Петровым. Он использовал карбамидную смолу, которая представляет собой сиропообразную жидкость. Для закрепления грунтов заводской продукт разбавляют вдвое. Переход смолы из жидкого состояния в твердое происходит при введении отвердителей: 5%-ного раствора щавелевой или соляной кислоты, хлористого аммония и др.

Перед началом закачивания по специальной шкале определяют pH-водный раствор вытяжки грунта. Если pH равен 7, то активный водород грунта нейтрален. При $pH<7$ — кислый, а при $pH>7$ (10—11) — щелочной. При pH в песчаном грунте от 7,6 до 8 данный способ может быть применен при условии предварительной обработки грунта 1—5%-ным раствором соляной кислоты.

Карбамидной смолой могут быть закреплены мелкие пески с $K_ф=0{,}5—1{,}5$ м/сут. Прочность при сжатии грунта, закрепленного карбамидной смолой, больше, чем при силикатизации, и при нагнетании под давлением в 2—3 ати составляет от 1,5 до 3 МПа/см² [42]. Все элементы технологического процесса аналогичны силикатизации. Приготовление и закачка на одну заходку гелеобразующего раствора производятся порциями по 150 л. Если при инъекции химических растворов сохраняется незначительное давление при избыточном поглощении раствора, то наг-

нетание должно быть прекращено до дополнительного полного заполнения разрыхленных участков цементацией.

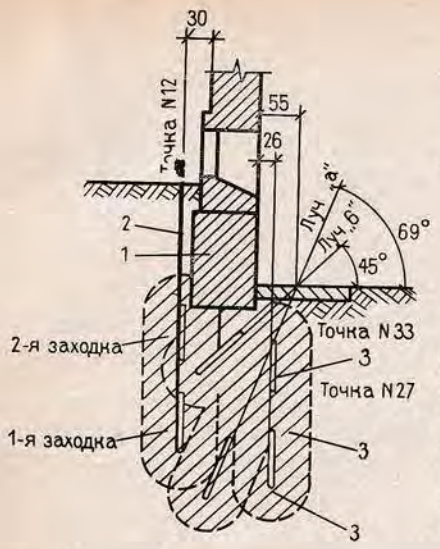
Скважина выдерживается не менее 24 ч, после чего инъекция химических растворов повторяется. Прочность закрепления грунта должна составлять около 1 МПа/см². Полнота закрепления определяется бурением контрольных скважин. Полученные образцы испытывают на одноосное сжатие. После окончания смолизации скважина набивается цементно-песчаным раствором. В холодное время года температура в помещении, откуда ведется инъекция, должна быть не ниже +5°. Водоснабжение должно обеспечивать расход до 15—20 м³/ч. Обеспечение электроэнергией должно быть не менее 60 кВт.

Глинизация грунтов в наших условиях используется в основном для увеличения угла внутреннего трения и водонепроницаемости песков естественной влажности, имеющих коэффициент фильтрации более 3 м/сут. Материалом для глинизации служит водная суспензия бентонитовых глин, которые обеспечивают раствору требующуюся стабильность. Желательно, чтобы применяемая глина имела предел текучести 60; при меньшем пределе текучести добавляют коллоиды. Производство работ по глинизации подобно силикатизации. Глинизация имеет преимущество перед цементацией, так как частицы глины мельче частиц цемента, а следовательно, могут быть применены при меньшем коэффициенте фильтрации и тогда, когда не требуется значительного упрочнения грунтов.

Электросиликатизация. Под влиянием постоянного электрического тока в водонасыщенном грунте возникает движение ионов от анода к катоду (электроосмос). Этим движением связанная вода, находящаяся в грунте, переходит в свободное состояние и начинает передвигаться как бы при увеличенных сечениях капилляров. Если гидравлический градиент равен нулю, то благодаря электроосмосу коэффициент фильтрации увеличивается в 4 раза и более. При подведении к анодам химических растворов последние начинают двигаться вслед за водой к катоду. Этот способ и получил название электросиликатизации. Впервые он был применен в Польше проф. Р. Цебертовичем. Он установил, что если после окончания нагнетания силикатов продолжать пропускать электрический ток в грунте еще 7 дней, то механическая прочность закрепленного грунта увеличится в 5 раз.

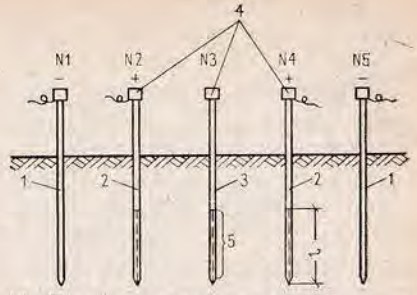
Этот способ был применен в СССР при укреплении грунтов под фундаментами Дома Советов в Ростове-на-Дону. Подстилающие грунты представляли собой водонасыщенные суглинки слоем толщиной до 6 м с коэффициентом фильтрации 0,08 м/сут.

Для электросиликатизации лучше всего применять пакетную схему из 5 инъекторов (рис. 44, 45). Инъекторы № 1 и 5 — катоды, № 2 и 4 — аноды, а средний № 3 — нейтральный. Раствор по



44. Разрез по закрепленному грунту под фундаментом

1 — существующий фундамент; *2* — инъекторы для нагнетания раствора; *3* — закрепленный силикатизированный массив грунта



45. Электросиликатизация грунтов по пакетной схеме

1 — инъектор-катод; *2* — инъектор-анод; *3* — нейтральный инъектор; *4* — места нагнетания раствора; *5* — перфорированная часть инъектора

данной схеме нагнетается одновременно в инъекторы за № 2, 3 и 4.

Однорастворный способ силикатизации применяется в основном для закрепления лессовых грунтов. Благодаря наличию в лессовых грунтах водорастворимых солей кальция и магния при нагнетании в них силикатного раствора лесс довольно быстро переходит в гель кремневой кислоты, сообщающий грунту непросадочность, прочность (40—50 Н/см²), водонепроницаемость. Силикатизации могут подлежать лессовые грунты, расположенные выше уровня грунтовых вод, так как только такие грунты являются просадочными и могут в связи с этим требовать укрепления.

При нагнетании в лесс химикатов из-за напряженного состояния грунта под влиянием массы вышележащих слоев и тем более от расположенных над ними сооружений происходит большая дополнительная просадка. Так, в процессе нагнетания жидкого стекла в лессовые грунты под зданием в Георгиевке в 1973 г. произошла дополнительная осадка основания на 150 мм и вызвала в здании большие деформации.

Инъекторы для нагнетания раствора в лессовом грунте принимаются такие же, что и для двухрастворного способа.

Однорастворный способ применяется и для закрепления плывунов с коэффициентом фильтрации $K_ф > 0{,}25$ м/сут и радиусом закрепления около 20 см. Для закрепления плывунов применяют силикаты натрия в смеси с фосфорной кислотой. Этот способ в основном используется для создания водонепроницаемых завес и поэтому при укреплении памятников архитектуры может при-

меняться редко. То же относится к нагнетанию в грунт горячих битумов; ими, как правило, заполняют трещины в скальных породах.

Цементация рекомендуется для песков с коэффициентом фильтрации от 50 до 100 м/сут и для заполнения трещин в плотных скальных породах с расходом воды 0,1—1 л/мин на 1 м длины скважины и при давлении 1 м вод. ст. Для укрепления оснований памятников архитектуры этот способ употребляется редко, так как пески с коэффициентом фильтрации 50 м/сут, как правило, имеют достаточную несущую способность.

Цементация производится цементным молоком $В/Ц=5$, 3; 2; 1; 0,8 при давлении ~ 2 ати до отказа. За отказ принимается поглощение раствора 5 л/мин в течение 15 мин при давлении 2 ати.

Аэрированное (с микропузырьками) цементное молоко проникает в более мелкие грунты. Оно предупреждает образование агрегатов из частиц цемента. При соотношениях $Ц:В=2:1$ мелкие поры закрываются так же, как и при разбавленных суспензиях.

Закрепление негашеной известью в основном применяется для уплотнения слабых водонасыщенных грунтов при двухстадийном способе: сначала забивают трубы диаметром 25—40 см с закрытыми концами, уплотняющими грунт, затем после извлечения труб в период гашения набитой в скважины негашеной комовой извести за счет поглощения воды, находящейся в песчано-глинистом грунте, увеличивается объем сваи. Одновременно имеет место физико-химический процесс за счет частичного перемешивания извести с окружающим грунтом. Со временем образуется кальцинированный глинистый слой, сопровождающийся твердением грунтово-известковой смеси, который уменьшает сжимаемость.

Термическая обработка [23] для подводки фундаментов может быть применена в лессовых грунтах, имеющих коэффициент газопроницаемости от 0,15 до 0,30 см/с ($К \geqslant 1$ дарси). Передача тепла от источников нагрева в окружающий ее грунт осуществляется двумя путями: контактом между источником нагрева и поверхностью массива грунта (способ Н. А. Осташева) и конвекцией, возникающей в результате фильтрации раскаленных газов, путем их продувания под давлением 0,5 ати через поры тщательно загерметизированного входного отверстия (способ И. Литвинова). Непрерывная продолжительность термической обработки составляет до 24 сут.

В процессе обжига происходят необратимые изменения, в результате которых резко увеличивается прочность грунта (100 и более Н/см²), утрачивается способность такого грунта к усадке (просадкам) и он не размывается под влиянием атмосферных воздействий и других увлажнений, но цвет грунта меняется.

По первому способу сжигание горючего производится непосредственно в скважине или в помещении. В качестве горючего используются различные виды жидкого, газообразного и твердого топлива. Подача жидкого и газообразного топлива производится через форсунки.

По второму способу нагнетают под давлением горячий воздух, нагретый до температуры 300—800°С, как требуется для получения обожженного кирпича. Воздух с такой температурой получают в специальных стационарных или передвижных нагревательных агрегатах. При обоих способах необходимо сначала загерметизировать участок, подвергаемый обжигу.

Здесь необходимо учесть, что максимальная температура при непосредственной теплопередаче или при применении раскаленных газов должна быть ниже температуры плавления обжигаемых материалов. Если обжигаемые плоскости оплавятся, то тем самым прекратится проникание горячих газов внутрь стены, стенок скважины, и, если обжигу подверглась внешняя плоскость стены, то она, оказываясь паронепроницаемой, будет конденсировать влагу и может вскоре отделиться (отлупиться) и отвалиться.

Чтобы при первом способе поддерживать горение в камере сгорания, необходимо через форсунку подавать сжатый воздух с избыточным давлением 0,25—0,49 МПа/см². Сжигание топлива непосредственно в камере обходится дешевле и главное производится проще, чем нагнетание в камеру предварительно нагретого в специальных агрегатах воздуха. Так, с целью подводки фундаментов вплотную к фундаменту с обеих сторон бурились скважины диаметром 100 мм до подстилающего непросадочного грунта. Вверху скважины устанавливался герметический затвор с камерой сгорания. Чаще всего через форсунки подается соляровое масло из расчета 0,5 кг в час на каждый 1 пог. м скважины. Воздуха подается по 30 м³ на 1 кг масла. Средний диаметр сваи из обожженного грунта составил до 2 м. Благодаря заходу обожженного грунта почти на 1 м под подошву фундамента с каждой его стороны осадка сооружения прекращается. Термическая обработка, как было сказано, не вызывает обратимых явлений и обходится на 10% дешевле, чем менее прочная и еще не определенная по долговечности силикатизация однорастворным способом. Модуль общей деформации грунта, подвергнутого обжигу, составляет от 150 до 280 кН/см², а расчетное сопротивление сжатию — 0,3—0,5 кН/см².

В последние годы начались экспериментальные работы по укреплению сырцовых стен путем приставки к ним щитов с горящими горелками от горючего газа. Эти горелки располагаются на расстоянии примерно 30—40 см одна от другой. При нагревании образуется корка и меняется цвет стен. Дело в том, что нагретый воздух должен уходить внутрь стены, а коэффициент газопроницаемости сырцовой стены для этого далеко недостаточен. Чтобы горячий воздух не уходил, следует загерметизировать

щит. Если же сделать такую герметизацию, то для поддержания горения потребуется подача извне за щит воздуха, а этот подаваемый воздух, не проникая в поры стен, оттолкнет щит от стены и нарушит герметизацию.

Электроискровое уплотнение водонасыщенных песков и лессовых грунтов состоит в том, что в грунте между двумя электродами возникает высоковольтный разряд: в результате импульсного удара в водонасыщенных песках между электродами возникает очень высокое давление (гидродинамический эффект), которое уплотняет грунт. В лессовых же грунтах под воздействием высоковольтного разряда разрушается его природная структура и под воздействием нагрузки от вышележащего грунта происходит уплотнение.

В последнее время в Японии для закрепления слабых, в том числе и лессовых грунтов, применяется *специальный агрегат*. С его помощью ведется бурение скважины большого диаметра с одновременным перемешиванием грунта с цементом и уплотнением бетонной смеси. Этот агрегат может устроить грунтобетонные сваи на глубину до 30 м с обеих сторон стены помещения с высоким покрытием и перекрепить на них стены.

В заключение этой главы следует сказать об осадках, сопутствующих работам по подводке фундаментов и усилениям оснований. Чтобы подвести столбчатый фундамент или вдавливаемую сваю, приходится сначала под подошвой фундамента устраивать шурф. Для такого шурфа часть подошвы фундамента обнажается, и ближайшие участки основания получают дополнительные напряжения и в соответствии с этим осадку. Выше давались рекомендации по устройству временных поддерживающих конструкций, благодаря которым дополнительная осадка не должна произойти. Осадки происходят и при инъекции в основание сооружений химикатов. Нагнетаемые под подошву фундамента реактивы стремятся двигаться в сторону наименьшего сопротивления, туда, где грунт имеет меньшую плотность, т. е. стремятся потечь в примыкающий к подошве фундамента более рыхлый, неуплотнившийся грунт. Вместе с жидкостью в сторону от фундамента перемещается и часть грунта, вызывая осадки сооружения. Чтобы не происходило перемещения реагентов из-под основания, подстилающего фундаменты, необходимо заблаговременно устроить из силикатов соответствующую завесу. Эта завеса не должна иметь разрывов, что не всегда легко достичь. Если же слабый, подлежащий укреплению грунт имеет необходимый коэффициент фильтрации и ограниченный по высоте слой и он расположен между водоупорами, то в этом случае силикатизация может быть проведена очень успешно и она не вызовет дополнительной осадки сооружения.

ГЛАВА VI

ПРИМЕР МЕТОДИКИ ПОДСЧЕТА НОРМАТИВНЫХ НАГРУЗОК И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

Применяемая точность расчета не может быть определена в отрыве от того, каким целям она должна служить.

Э. Гендель.

1. Пример подсчета (эталон) нагрузок с определением напряжений в основании и усилий в затяжках.

Подсчет собственной массы и определение напряжений в основании башни Сююмбеки в Казани.

Зачастую проектировщики применяют одинаковую методику подсчета нагрузок как для строящегося, так и для старого здания. Для памятника архитектуры расчет основания от массы строительных элементов должен производиться без учета коэффициентов перегрузок, так как сооружение существует и все его части полностью входят в подсчет нагрузок. При строительстве нового здания возможна замена одних конструкций другими, более тяжелыми.

Временная нагрузка на перекрытиях и лестницах для данного памятника не учитывается из-за небольших площадей, на которых могут разместиться люди, тем более, что подъем людей на башню не производится. Ветровые нагрузки учитываются согласно СНиП II-6-74. Снеговые нагрузки при наличии ветра не учитываются, тем более что сама конфигурация башни не способствует скоплению снега. Приведенный пример показывает, как рекомендуется вести подсчет нагрузок и определять напряжения в основании для накренившегося сооружения.

Фундамент (рис. 46). Площадь основания $F=10{,}8\cdot13{,}6=147$ м². Объем двух массивов фундамента из бутовой кладки $V_1=2\cdot5{,}4\cdot13{,}6\cdot2{,}3=389$ м³. Масса $P_ф=339\cdot20=6780$ кН.

Первый ярус (рис. 47). Объем двух массивов из кирпичной кладки $V_2=2\cdot5{,}3\cdot13{,}13\cdot11=1530$ м³. Масса $P_1=1530\cdot17=26000$ кН.

Второй ярус (рис. 48). Объем $V_3=(13{,}87\cdot11{,}12-6\cdot6{,}37)\,5{,}2=602$ м³

Объем проемов: $V_{пр}=(3{,}4\cdot1{,}6\cdot1{,}8+2\cdot1\cdot0{,}76)\,4+0{,}85\cdot2{,}6\cdot3{,}75\cdot2=61{,}6$ м³. Масса $P_2=(602-61{,}6)\,17=9200$ кН.

Третий ярус (рис. 49). Объем $V_4=(10\cdot10-5{,}72\cdot6{,}4)\,5{,}2=330$ м³. Масса $P_3=330\cdot17=5620$ кН.

Четвертый ярус (рис. 50). Геометрические параметры: $a=3{,}5$ м; $b=2{,}24$ м; $c=1{,}45$ м. Объем $V_5=\frac{3{,}5+2{,}24}{2}\cdot1{,}45\cdot8\cdot6{,}4=213$ м³;

масса $P_4=213\cdot17=3630$ кН.

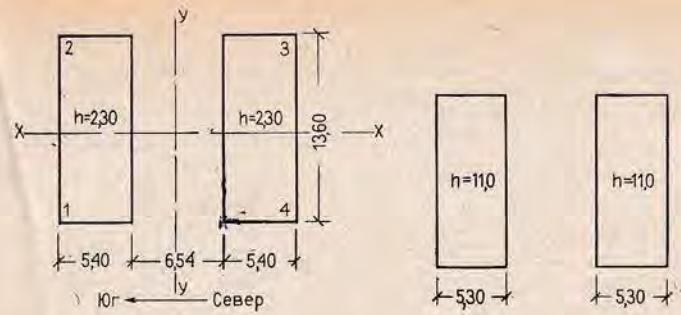
Пятый ярус (форма в плане та же, что и у четвертого яруса). Геометрические параметры: $a=2{,}64$ м; $b=1{,}53$ м; $c=1{,}25$ м. Объем $V_6=\frac{2{,}64+1{,}53}{2}\times$



46. Башня Сююмбеки в Казани. Общий вид

$\times 1{,}25 \cdot 8 \cdot 5{,}5 = 115$ м³; объемы проемов $V_{пр} = 1{,}25 \cdot 0{,}8 \cdot 2{,}6 \cdot 8 = 20{,}8$ м³ (шт. 8). Масса $P_5 = (115 - 20{,}8)\ 17 = 1600$ кН.

Шестой ярус. Средние по высоте размеры башни (форма та же): $a = 1{,}6$ м; $в = 1{,}13$ м; $c = 0{,}45$; объем $V_7 = \dfrac{1{,}6 + 1{,}13}{2} \cdot 0{,}45 \cdot 8{,}1 \cdot 8 = 40$ м³; масса $P_6 = 40 \cdot 17 = 680$ кН.





47. План фундамента. План первого яруса. Нижний ярус

Седьмой ярус: $a = 1{,}25$ м; $в = 0{,}76$ м; $c = 0{,}62$ м; объем $V_8 = \dfrac{1{,}25 + 0{,}76}{2} \times$ $\times 0{,}62 \cdot 4{,}3 \cdot 8 = 21{,}2$ м³; масса $P_7 = 21{,}2 \cdot 17 = 360$ кН.

Масса башни Сююмбеки $\Sigma P = 53870$ кН — нормативная нагрузка.

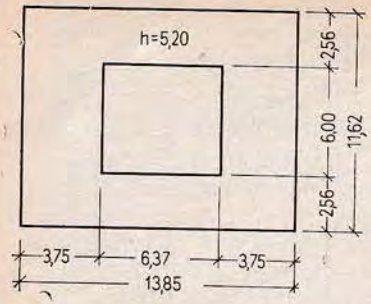
Определение напряжений в основании

Геометрические характеристики подошвы фундамента башни (рис. 51): $F_ф = 2 \cdot 5{,}4 \cdot 13{,}6 = 147$ м².

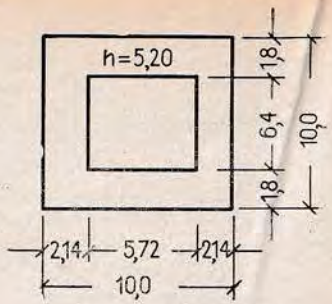
Моменты сопротивления:

$$W_x = \frac{2 \cdot 5{,}4 \cdot 13{,}6^2}{6} = 333 \text{ м}^3;$$

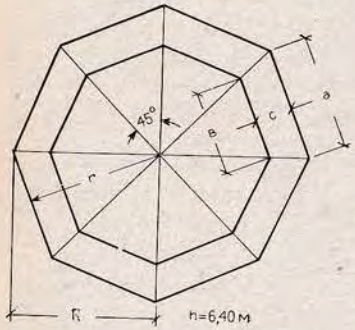
$$W_y = \frac{13{,}6}{6}\,(17{,}34^2 - 6{,}54^2) = 586 \text{ м}^3.$$



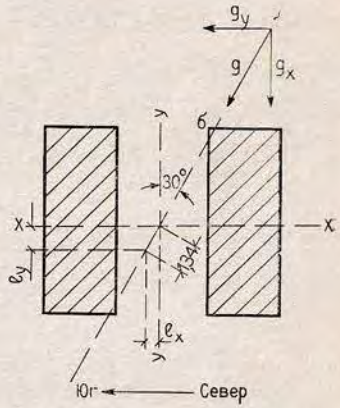
48. План второго яруса



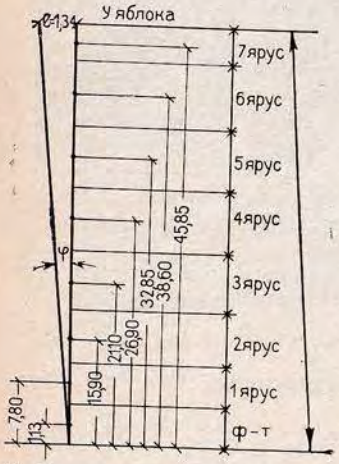
49. План третьего яруса



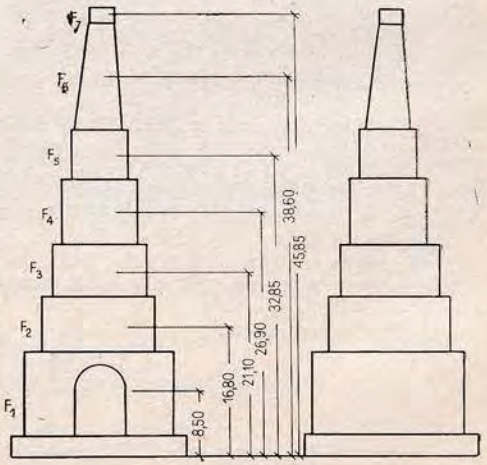
50. План четвертого яруса



51. Схема для определения эксцентриситета



52. Эксцентриситеты у ярусов



53. Башня Сюмбеки. Западный фасад. Северный фасад

Определение моментов от крена. Эксцентриситет смещения центра седьмого яруса башни по отношению к геометрическому центру основания (рис. 52) $e = 1{,}34$ м и направлен под углом 30° к оси y.

Координаты эксцентриситета e на оси x и y:

$$e_x = 1{,}34 \cos 30° = 1{,}17 \text{ м}; \quad \cos 30° = 0{,}876;$$
$$e_y = 1{,}34 \cos 60° = 0{,}67 \text{ м}; \quad \cos 60° = 0{,}5.$$

Величины координат эксцентриситетов центров тяжести ярусов (рис. 53). Положение эксцентриситетов ярусов:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1{,}34}{48} = 0{,}028; \quad \varphi = 1°38'.$$

$e_ф = 1{,}15 \cdot 0{,}028 = 0{,}0322$ м; $e_1 = 7{,}8 \cdot 0{,}028 = 0{,}218$ м;
$e_2 = 15{,}9 \cdot 0{,}028 = 0{,}435$ м; $e_3 = 21{,}1 \cdot 0{,}028 = 0{,}49$ м;
$e_4 = 26{,}9 \cdot 0{,}028 = 0{,}755$ м; $e_5 = 32{,}85 \cdot 0{,}028 = 0{,}92$ м;
$e_6 = 38{,}6 \cdot 0{,}028 = 1{,}01$ м; $e_7 = 45{,}85 \cdot 0{,}028 = 1{,}285$ м.

Координаты эксцентриситетов ярусов:

$e_{xф} = 0{,}876 \cdot 0{,}0322 = 0{,}0282$ м; $e_{x1} = 0{,}876 \cdot 0{,}218 = 0{,}191$ м;
$e_{x2} = 0{,}876 \cdot 0{,}435 = 0{,}381$ м; $e_{x3} = 0{,}876 \cdot 0{,}49 = 0{,}43$ м;
$e_{x4} = 0{,}876 \cdot 0{,}755 = 0{,}666$ м; $e_{x5} = 0{,}876 \cdot 0{,}92 = 0{,}805$ м;
$e_{x6} = 0{,}876 \cdot 1{,}01 = 0{,}89$ м; $e_{x7} = 0{,}876 \cdot 1{,}285 = 1{,}125$ м;
$e_{yф} = 0{,}5 \cdot 0{,}0322 = 0{,}0161$ м; $e_{y1} = 0{,}5 \cdot 0{,}218 = 0{,}109$ м;
$e_{y2} = 0{,}5 \cdot 0{,}435 = 0{,}215$ м; $e_{y3} = 0{,}5 \cdot 0{,}49 = 0{,}245$ м;
$e_{y4} = 0{,}5 \cdot 0{,}755 = 0{,}377$ м; $e_{y5} = 0{,}5 \cdot 0{,}92 = 0{,}46$ м;
$e_{y6} = 0{,}5 \cdot 1{,}01 = 0{,}505$ м; $e_{y7} = 0{,}5 \cdot 1{,}285 = 0{,}643$ м.

Моменты от собственного веса ярусов башни. Плоскость x:

$M_ф = 0{,}0282 \cdot 6780 = 191{,}1$ кН·м; $M_1 = 0{,}191 \cdot 26000 = 4960$ кН·м;
$M_2 = 0{,}381 \cdot 9200 = 3500$ кН·м; $M_3 = 0{,}43 \cdot 5620 = 2420$ кН·м;
$M_4 = 0{,}666 \cdot 3630 = 2420$ кН·м; $M_5 = 0{,}805 \cdot 1600 = 1290$ кН·м;
$M_6 = 0{,}89 \cdot 680 = 605$ кН·м; $M_7 = 1{,}125 \cdot 360 = 405$ кН·м;
$M_{ex} = 15791$ кН·м;

Плоскость y:

$M_ф = 0{,}0161 \cdot 6780 = 109$ кН·м;
$M'_1 = 0{,}109 \cdot 26000 = 2830$ кН·м; $M'_2 = 0{,}2175 \cdot 9200 = 2000$ кН·м;
$M'_3 = 0{,}245 \cdot 5620 = 1375$ кН·м; $M'_4 = 0{,}377 \cdot 3630 = 1330$ кН·м;
$M'_5 = 0{,}46 \cdot 1600 = 736$ кН·м; $M'_6 = 0{,}505 \cdot 680 = 343$ кН·м;
$M'_7 = 0{,}645 \cdot 360 = 232$ кН·м; $\Sigma M'_{ey} = 6925$ кН·м.

Определение напряжений в основании башни от собственной массы и крена. Нормативные усилия по подошве фундамента:

$$N = 53870 \text{ кН·м};$$
$$M_x = 15791 \text{ кН·м}; \quad M_y = 6925 \text{ кН·м}.$$

Фибровые напряжения (точки № 1, 2, 3, 4):

$$\sigma_1 = \frac{53870}{147} + \frac{15791}{333} + \frac{6925}{586} = 426 \text{ кН/м}^2;$$

$$\sigma_2 = \frac{53870}{147} + \frac{15791}{333} - \frac{6925}{586} = 403 \text{ кН/м}^2;$$

$$\sigma_3 = \frac{53870}{147} - \frac{15791}{333} - \frac{6925}{586} = 308 \text{ кН/м}^2;$$

$$\sigma_4 = \frac{53870}{147} - \frac{15791}{333} + \frac{6925}{586} = 331 \text{ кН/м}^2.$$

Определение напряжений в основании башни от ветрового давления, направленного вдоль крена башни.

Западная сторона нормально к оси x.

Северная сторона нормально к оси y.

Определение ширины проекции ярусов башни на оси x и y:

$$R = \sqrt{(0{,}5a)^2 + \frac{a^2 c^2}{(a-b)^2}};$$

четвертый ярус

$$R_4 = \sqrt{1{,}75^2 + \frac{3{,}5^2 \cdot 1{,}45^2}{(3{,}5-2{,}24)^2}} = 4{,}4 \text{ м};$$

пятый ярус

$$R_5 = \sqrt{1{,}32^2 + \frac{2{,}64^2 \cdot 1{,}25^2}{(2{,}64-1{,}53)^2}} = 3{,}45 \text{ м};$$

шестой ярус

$$R_6 = \sqrt{0{,}80^2 + \frac{1{,}6^2 \cdot 0{,}45^2}{(1{,}6-1{,}13)^2}} = 2{,}96 \text{ м};$$

седьмой ярус

$$R_7 = \sqrt{0{,}63^2 + \frac{1{,}26^2 \cdot 0{,}62^2}{(1{,}26-0{,}76)^2}} = 1{,}68 \text{ м}.$$

Определение ветровых площадей ярусов. Западная сторона, нормальная к оси x.

Первый ярус (с учетом действия ветра под некоторым углом — условно на площадь, ограниченную сводом, принимаемую 6,54·3,5)
$F_1 = 2 \cdot 5{,}3 \cdot 11 + 6{,}55 \cdot 3{,}5 = 139{,}5$ м²;
Второй ярус $F_2 = 13{,}87 \cdot 5{,}2 = 72$ м²;
Третий ярус $F_3 = 10 \cdot 5{,}2 = 52$ м²;
Четвертый ярус $F_4 = 6{,}4 \cdot 2 \cdot 4{,}4 = 56{,}3$ м²;
Пятый ярус $F_5 = 5{,}5 \cdot 2 \cdot 3{,}45 = 38$ м²;
Шестой ярус $F_6 = 8{,}1 \cdot 2 \cdot 2{,}96 = 48$ м²;
Седьмой ярус $F_7 = 4{,}3 \cdot 2 \cdot 1{,}68 = 14{,}4$ м².

Северная сторона, нормальная к оси y: $F_1' = 13{,}15 \cdot 11{,}9 = 157$ м², $F_2' = 11{,}12 \times 5{,}2 = 58$ м²; $F_3' = 10 \cdot 5{,}2 = 52$ м²; $F_4' = 56{,}3$ м²; $F_5' = 38$ м²; $F_6' = 48$ м²; $F_7' = 14{,}4$ м².

Моменты от давления ветра. Для давления ветра принимаем следующие величины:

для первого, второго и третьего ярусов: $g_1 = 400$ Н/м²; для четвертого яруса: $g_2 = 470$ Н/м²; для пятого яруса: $g_3 = 530$ Н/м²; для шестого яруса $g_4 = 590$ Н/м²; для седьмого яруса: $g_5 = 660$ Н/м².

Ветровые усилия $T_x = g \cos 30° = g \cdot 0{,}866$; $T_y = g \sin 30° = 0{,}5$.

Западная сторона, нормальная к оси x (рис. 55):

$$P^{в}_{1x} = 0{,}866 \cdot 400 \cdot 139{,}5 = 48 \text{ кН}; \quad P^{в}_{2x} = 0{,}866 \cdot 400 \cdot 72 = 24{,}9 \text{ кН};$$

$$P^{в}_{3x} = 0{,}866 \cdot 400 \cdot 52 = 18 \text{ кН}; \quad P^{в}_{4x} = 0{,}866 \cdot 470 \cdot 56 = 22{,}9 \text{ кН};$$

$$P^{в}_{5x} = 0{,}866 \cdot 530 \cdot 38 = 17{,}4 \text{ кН}; \quad P^{в}_{6x} = 0{,}866 \cdot 590 \cdot 48 = 24{,}5 \text{ кН};$$

$$P^{в}_{7x} = 0{,}866 \cdot 660 \cdot 14{,}4 = 8{,}3 \text{ кН}.$$

Северная сторона, нормальная к оси y:

$$P^{в}_{1y} = 0{,}5 \cdot 400 \cdot 157 = 31{,}5 \text{ кН}; \quad P^{в}_{2y} = 0{,}5 \cdot 400 \cdot 58 = 11{,}6 \text{ кН};$$

$$P^{в}_{3y} = 0{,}5 \cdot 400 \cdot 52 = 10{,}4 \text{ кН}; \quad P^{в}_{4y} = 0{,}5 \cdot 470 \cdot 56{,}3 = 13{,}2 \text{ кН};$$

$$P^{в}_{5y} = 0{,}5 \cdot 530 \cdot 38 = 10 \text{ кН}; \quad P^{в}_{6y} = 0{,}5 \cdot 590 \cdot 48 = 14{,}2 \text{ кН};$$

$$P^{в}_{7y} = 0{,}5 \cdot 660 \cdot 14{,}4 = 4{,}7 \text{ кН};$$

Моменты, нормальные к оси x:

$$M^{в}_{1x} = 48 \cdot 8{,}5 = 407 \text{ кН·м}; \quad M^{в}_{2x} = 24{,}9 \cdot 16{,}8 = 420 \text{ кН·м};$$

$$M^{в}_{3x} = 18 \cdot 21{,}1 = 381 \text{ кН·м}; \quad M^{в}_{4x} = 22{,}9 \cdot 26{,}9 = 616 \text{ кН·м};$$

$$M^{в}_{5x} = 17{,}4 \cdot 32{,}85 = 572 \text{ кН·м}; \quad M^{в}_{6x} = 24{,}5 \cdot 38{,}6 = 935 \text{ кН·м};$$

$$M^{в}_{7x} = 8{,}3 \cdot 45{,}86 = 377 \text{ кН·м}; \quad \text{Итого: } \Sigma M^{в}_{x} = 3708 \text{ кН·м}.$$

Моменты, нормальные к оси y:

$$M^{в}_{1y} = 31{,}5 \cdot 8{,}5 = 267{,}5 \text{ кН·м}; \quad M^{в}_{2y} = 11{,}6 \cdot 16{,}8 = 195 \text{ кН·м};$$

$$M^{в}_{3y} = 10{,}4 \cdot 21{,}1 = 220 \text{ кН·м}; \quad M^{в}_{4y} = 13{,}2 \cdot 26{,}9 = 355 \text{ кН·м};$$

$$M^{в}_{5y} = 10 \cdot 32{,}85 = 328{,}5 \text{ кН·м}; \quad M^{в}_{6y} = 14{,}2 \cdot 38{,}6 = 545 \text{ кН·м};$$

$$M^{в}_{7y} = 4{,}7 \cdot 45{,}86 = 215 \text{ кН·м}; \quad \text{Итого: } \Sigma M^{в}_{y} = 2226 \text{ кН·м}.$$

Напряжения по подошве фундамента от ветра:

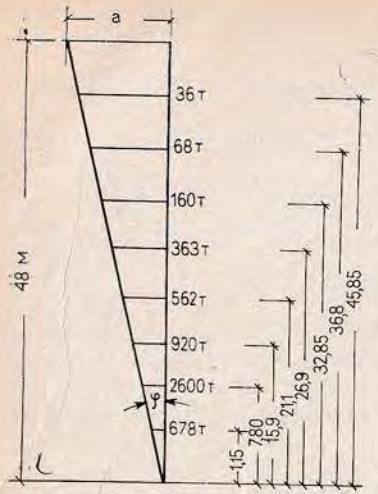
Точка № 1 $\sigma_1 = + \frac{3708}{333} + \frac{2226}{586} \approx +15$ кН/м².

Точка № 2 $\sigma_2 = - \frac{3708}{333} + \frac{2226}{586} \approx -8$ кН/м².

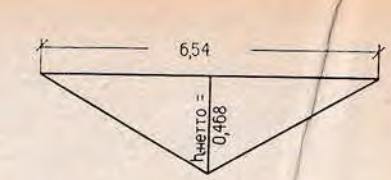
Точка № 3 $\sigma_3 = - \frac{3708}{333} - \frac{2226}{586} \approx -15$ кН/м².

Точка № 4 $\sigma_4 = + \frac{3708}{333} - \frac{2226}{586} \approx +8$ кН/м².

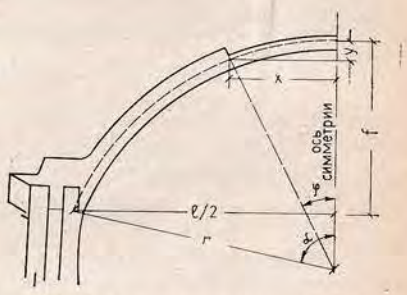
Максимальные напряжения:
Точка № 1 = 426 + 15 = 441 кН/м².
Точка № 2 = 403 — 8 = 395 кН/м².
Точка № 3 = 308 — 15 = 293 кН/м².
Точка № 4 = 331 + 8 = 339 кН/м².



54. Схема для определения угла наклона башни при минимальном напряжении, равном нулю



55. Схема инфлюэнтной линии



56. Схема для расчета купола

Математическое определение предельно возможного крена башни из условия отсутствия растягивающих напряжений по подошве фундамента. Величина перемещения верхней точки башни по направлению ее крена является искомой (рис. 54).

Предельно возможный угол наклона башни $\operatorname{tg}\varphi = \frac{a}{48} = 0{,}0209\ a$.

Изгибающий момент в направлении крена башни $M_z = \Sigma P_n h_n \operatorname{tg}\varphi = 0{,}0209 \times (360 \cdot 45{,}85 + 680 \cdot 38{,}6 + 1600 \cdot 32{,}85 + 3630 \times 26{,}9 + 5620 \cdot 26{,}1 + 9200 \cdot 15{,}9 + 26000 \times 7{,}8 + 6780 \cdot 1{,}15)\ a = 14500a$.

Момент, перпендикулярный оси x:

$$M_x = M_z \cos 30° = 0{,}866 \cdot 14500\, a = 12550\, a.$$

Момент, перпендикулярный оси y:

$$M_y = M_z \sin 30° = 0{,}5 \cdot 14500\, a = 7250\, a.$$

Суммарные величины моментов с учетом ветра:

$$M_x = 12550\, a + 3708;\ M_y = 7250\, a + 2226.$$

Наименьшее напряжение сжатия в основании имеют точка № 3 $\sigma_3 = 293$ кН/м². Намечаем условие $\sigma_3 = 0$.

$$\sigma_3 = \frac{P}{F} - \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{53870}{147} - \frac{12\,550\, a + 3708}{333} + \frac{7250\, a + 2226}{586} = 0.$$

Произведя вычисления, находим a_{max}:

$$367 - 37{,}7\, a - 11{,}5 + 12{,}4\, a + 3{,}86 = 0;$$

$$a_{max} = \frac{359{,}36}{25{,}3} = 14{,}2 \text{ м}.$$

При этом напряжение в основании для точки № 1 будет следующее:

$$\sigma_1 = \frac{P}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} = \frac{53870}{147} + \frac{12550 \cdot 14{,}2 + 3708}{333} + \frac{7250 \cdot 14{,}2 + 2226}{586} = 1093 \text{ кН/м}^2.$$

Тангенс угла наклона башни $\operatorname{tg}\varphi = \frac{14{,}2}{48} = 0{,}296$; $\varphi = 16°30'$. При этом должно совершиться перемещение точки $Б$ в вертикальной плоскости

$$\delta = \frac{0{,}5 \cdot 13{,}6 \cdot \operatorname{tg}\varphi}{\cos 30°} = 2{,}32 \text{ м}.$$

Совершенно очевидно, что вертикальное перемещение точки $Б$, равное 2,32 м, не может совершиться вследствие незначительных упругих свойств грунтов по сравнению с полученными перемещениями. Значит, неизбежен отрыв подошвы фундамента от основания и перераспределение напряжений. Чтобы этого не произошло, требуется подводка фундаментов.

Определение величины распора свода башни в первом ярусе

Собственная масса башни за вычетом массы фундамента и массы первого яруса равна: $P = 53870 - 6780 - 26000 = 21090$ кН.

Из-за неравномерных осадок в шелыге цилиндрического свода образовалась горизонтальная трещина и свод стал более пологим. Принимая нагрузку на свод равномерно распределенной и как для трехшарнирной арки, получим усилие в затяжке с небольшим, вполне допустимым превышением. Находим эту силу распора. Ордината инфлюэнтной линии распора, расположенная по середине пролета свода, составит (см. рис. 55):

$$\eta = 0{,}25 \frac{L}{f} = 0{,}25 \cdot \frac{6{,}54}{3{,}5} = 0{,}468,$$

где L — пролет свода в свету; f — стрела подъема свода.

Площадь, ограниченная инфлюэнтной линией распора:

$$\omega_н = \eta \cdot L \cdot 0{,}5 = 0{,}468 \cdot 6{,}54 \cdot 0{,}5 = 1{,}53 \text{ м}^2.$$

Равномерно распределенная нагрузка по пролету свода составит:

$$q = \frac{P}{L} = \frac{21090}{6{,}54} = 3220 \text{ кН/м}.$$

Величина распора свода $H = \omega_н\, q = 1{,}53 \cdot 3220 = 4920$ кН.

Необходимая площадь сечения стали $(A—V)$ для восприятия распора затяжкой будет:

$$F = \frac{H}{\sigma} = \frac{4929}{640000} = 0{,}0078 \text{ м}^2 = 78 \text{ см}^2.$$

Таким образом, достаточно постановки 11 стержней диаметром 30 мм: $f_1 = 77{,}75$ см².

Принимаем глубину заделки стержня затяжки в кирпичную кладку 4,8 м (канал для арматуры не доводят до внешней плоскости стены на 0,5 м). Сцепление стержневой горячекатаной арматуры периодического профиля класса $A—V$ с цементным раствором принимаем в 0,1 кН/см², как на осевое растяжение раствора, набитого в канал, в котором уложена арматура. Каж-

дой затяжке дается предварительное напряжение с помощью стяжной муфты.

$$P = 11 \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 0{,}1 \cdot 480 = 4980 \text{ кН} > 4920 \text{ кН}.$$

2. Рекомендации для подсчета некоторых нормативных нагрузок и расчета специальных элементов конструкций культовых зданий.

Массу центральной византийской главки рекомендуется принять равномерно распределенной по наружной поверхности купола из расчета 1750 Н/м² горизонтальной проекции главки.

Массу креста определяют по его размерам. Эту массу часто принимают 6 кН, а массу люстры 8 кН.

Массу купола следует определять по линии его отсечения вертикальной плоскостью от стен. Меридиальное сечение купола разбивают на отдельные кольца и объем каждого кольца определяют по правилу Гюльдини: объем тела вращения равен величине движущейся площадки, умноженной на длину пути, пройденной ее центром тяжести.

Куполы для их расчета следует рассматривать как своды со всесторонней кривизной, опирающейся по всему контуру.

Для шарового одинаковой толщины купола радиуса r до отсеченной выше центра горизонтальной плоскостью пролетом $2x$ и стрелой подъема до данного сечения y (см. рис. 56) действительно следующее выражение:

$$r = \frac{x^2 + y^2}{2y},$$

где x — полухорда.

От собственной массы g такого купола на единицу его верхней поверхности возникают следующие усилия:

$$H_к = \frac{g(r^2 - 3ry + y^2)}{2r - y}; \quad N_к = \frac{gr^2}{2r - y}.$$

Если $x = r$, то $H_к = 0$. Значит, если купол является полушаром, то распор равен нулю. В ключе, где $y = 0$:

$$H_s = N_s = \frac{gr}{2} \text{ (сжатие)},$$

Горизонтальная кольцевая сила на единицу длины меридиана H_x и меридиальная сила N_x на единицу площади горизонтальной проекции шарового купола будет:

$$H_x = pr(\cos^2 \varphi) - 1/2) \text{ и } N_x = \frac{pr}{2} \text{ (сжатие)}.$$

где φ — половинный угол от центра купола до пересечения хорды с рассматриваемым кольцом; r — радиус шара купола. В ключе

$$H_s = N_s = \frac{pr}{2} \text{ (сжатие)}.$$

В пяте

$$N_к = \frac{p(r^2 - 4rf + 2f^2)}{2} \text{ и } N_к = \frac{pr}{2},$$

где f — стрела подъема до рассматриваемого горизонтального сечения.

Горизонтальное давление ветра W на единицу нормальной к направлению ветра площади в любом горизонтальном сечении x шарового купола будет:

$$H_x = \frac{W x^2 (3r^2 - 4x^2)}{4r^3}; \quad N_x = \frac{W x^2}{4r}.$$

В ключе $H_s = N_s = 0$.

В пяте при $x = \frac{l}{2}$ и $y = f$ получим:

$$H_к = \frac{W l^2 (3r^2 - l^2)}{16r^3}; \quad N_к = \frac{W l^2}{16r}.$$

При равномерно распределенной нагрузке p на единицу горизонтальной проекции пологих куполов, распор которых воспринимается металлической связью, установленной в пяте купольного кольца, получаем растягивающее усилие в этом кольце $H_к$ и меридиальную силу $N_к$ на единицу периметра приближенно по формулам:

$$H_к = \frac{p l^3}{32 f}; \quad N_к = \frac{p l}{4} \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2}$$

ГЛАВА VII

ПРИМЕРЫ ИЗ ПРАКТИКИ ИНЖЕНЕРНОЙ КОНСЕРВАЦИИ

Успех в строительном деле зависит не только от теоретической подготовки, но и не в меньшей степени от практического опыта.

Э. М. Гендель

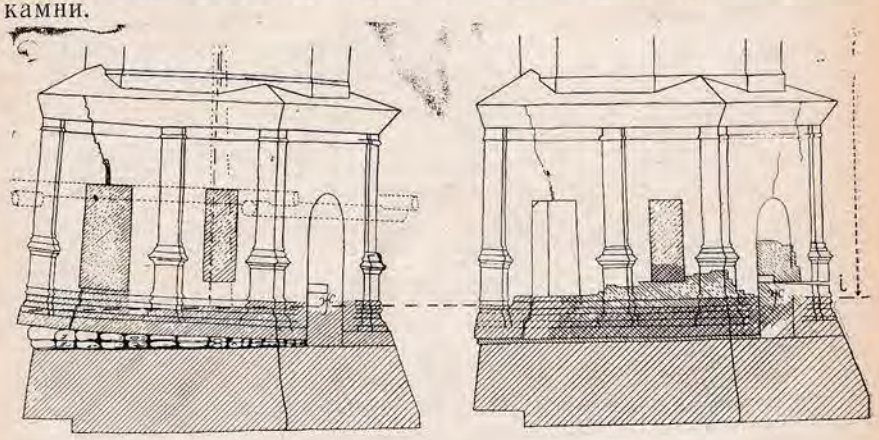
Примитивные приспособления для возведения тяжелых сооружений из монолитов были известны еще в далекой древности, причем предполагают, что в Египте для постройки пирамид пользовались деревянными салазками, клиньями и рычагами. При необходимости подъема большого камня устраивали длинные насыпи в виде наклонных плоскостей до места его установки. Передвигали камень по каткам, уложенным под салазки, с помощью канатов и рычагов. По-видимому, таким способом установили сфинкса у великих пирамид (40 м в длину и 30,4 м в высоту), а также камни, из которых сложен фундамент храма Солнца в Баальбеке (некоторые камни фундамента имеют размер 4×6×22 м, массу до 15000 кН). Позднее при перемещении больших монолитов во время строительства пользовались полиспастами, концы канатов которых наматывали на вороты. Такие примитивные приспособления обеспечивали установку в сооружении отдельных массивных камней, однако они не могли бы обеспечить подъем каменных памятников, состоящих из отдельных стен, несмотря на то что кладка последних может быть хорошо перевязана между собой.

Потребность в производстве работ по укреплению памятников, выпрямлению или подъему их отдельных отколовшихся частей из-за неравномерной осадки возникла давно. В старину осевшие, отколовшиеся и накренившиеся части сооружения укрепляли контрфорсами (см. рис. 2). Если же последние стояли на тех же слабых грунтах, то они не только не удерживали отклонившиеся части, но из-за дополнительной нагрузки на основание содействовали увеличению крена.

Ниже приводятся описания некоторых работ по инженерной консервации и реставрации памятников.

Выпрямление крена колокольни Боровско-Успенской церкви в Архангельске

Кирпичная колокольня Боровско-Успенской церкви высотой около 32 м была построена в 1762 г. (рис. 57). Фундаментом служили часто поставленные деревянные стулья, опиравшиеся на плотную красную глину. Поверх стульев были уложены на глиняном растворе крупные постелистые бутовые камни.



57. Нижняя часть колокольни Боровско-Успенской церкви. До выпрямления. После выпрямления (i — образовавшаяся трещина)

К сентябрю 1912 г. колокольня на уровне креста отклонилась по горизонтали на 1,28 м, но продолжала оставаться в устойчивом положении. Чтобы центр тяжести колокольни вышел из средней трети, величина отклонения от вертикали должна была бы превысить 3,5 м. Крен колокольни произошел от неравномерного гниения деревянных стульев.

П. П. Покрышкину (известному в то время специалисту по реставрации памятников) в 1912 г. было поручено ликвидировать крен колокольни и заменить деревянные стулья на

каменные фундаменты. Работу вели отдельными короткими участками. Сначала заменили фундаменты под место наибольшего крена колокольни. При замене-подводке фундаментов на этом пониженном участке смещение колокольни по горизонтали за счет временного уменьшения площади подошвы увеличилось на 0,54 м, а когда были подведены каменные фундаменты с противоположной стороны, крен уменьшился на 0,28 м. Затем подвели фундаменты в промежутках между уже подведенными участками, и вся работа по замене фундаментов была благополучно завершена.

Каменные столбы вновь подведенного фундамента не доводили до цоколя здания, а в оставленные зазоры между верхом столбов и низом цоколя набивали мешки с сухим песком. Разрыв по высоте со стороны крена делали минимальным, а с противоположной стороны — прямо пропорциональным требующейся высоте опускания колокольни. Крен выпрямили путем постепенного высыпания песка из мешков, используя для этого металлический прут.

В процессе выпрямления колокольни со стороны крена в каменной кладке выше цоколя на ограниченном по длине участке образовалась широкая горизонтальная трещина (рис. 57). Трещина разрывала кладку с внешней стороны на некоторую глубину по толщине стены. Появление трещины можно объяснить неравномерной осадкой по толщине стены. В образовавшуюся трещину забили стальные клинья для распределения нагрузки на всю толщину стены.

Как только колокольня стала вертикально, заложили кирпичом-железняком на цементном растворе все образовавшиеся пустоты между мешками с песком. После затвердения кладки поочередно убирали мешки с песком и закладывали образующиеся проемы.

Работы были начаты с подводки фундаментов под местом наибольшей осадки колокольни. В то время такая методика считалась правильной, но в наши дни необходимо до начала подводки с помощью предварительно напряженных подкосов или оттяжек добиться снижения напряжений в кладке со стороны крена, что исключит наклон колокольни во время подводки фундаментов.

В 1974 г. в Бухаре метод П. П. Покрышкина был использован при выпрямлении минарета медресе Гаукушон, крен которого составлял 2°28′.

Подводка фундаментов столбами в отдельных колодцах под стенами Успенского собора в Рязанском кремле

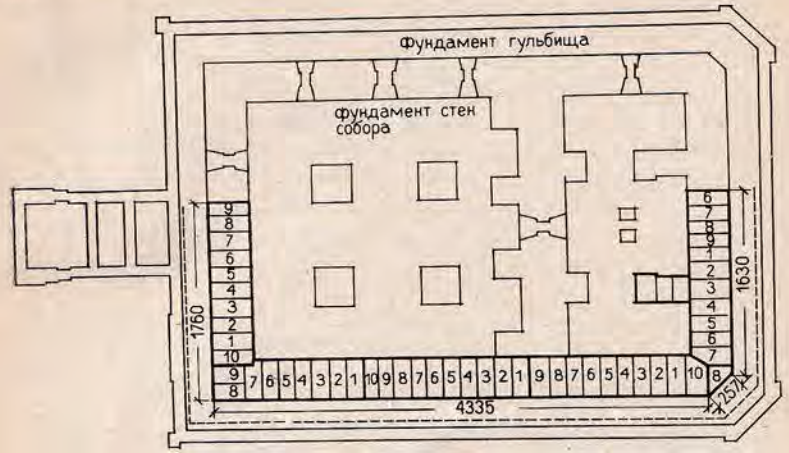
Собор построен Я.Бухвостовым в 1693—1699 гг. (рис. 58). Он расположен на высоком холме реки Трубеж близ ее впадения в р. Оку. Успенский собор имеет форму прямоугольного



58. Успенский собор в Рязани. Общий вид

параллелепипеда с размерами в плане 43,35×30 м (рис. 59), высотой 44 м, с толщиной стен 3,8 м. С восточной стороны к нему примыкают три абсиды. Издавна в западной стене над входом появилась вертикальная трещина. В 1948 г. в связи с прогрессированием этой трещины (рис. 60) и появлением дополнительных трещин на южной стене занялись исследованиями причин их образования и роста. Взятые в разных ме-

стах из-под фундамента монолиты грунта показали разный состав и большую разницу в деформативности при одинаковой нагрузке.



59. План собора и последовательность подводки фундаментов

Так, в южной продольной части памятника под фундаментами залегал культурный слой, мощность которого была большей (70 см) под южной стеной и сходила на нет в северном направлении, где-то за пределами продольной оси собора. Кроме того, ближе к юго-западному углу памятника под фундаментом собора был обнаружен наискось пересекавший его фундамент примерно длиной 10 м ранее существовавшего сооружения. Культурный слой на этом участке подстилается твердым суглинком (влажность 13%) толщиной 50—60 см. Ниже залегает макропористый суглинок твердой консистенции (влажность 16%) толщиной слоя в 3,3 м, который в свою очередь подстилается мелким маловлажным песком большой толщины.



60. Трещина вверху западной стены над входным проемом

Наружные версты фундамента собора были сложены из крупных известняковых рваных камней на известковом раст-

воре, а местами на глиняном. Внутреннее заполнение фундамента выполнено под залив и состоит из мелких известняковых камней и кирпичного щебня в основном на слабом известковом растворе. Глубина заложения фундамента со стороны гульбища 2,75 м, а со стороны подклети на 35 см ниже. В нижнюю часть кладки фундамента по высоте 40 см входили забитые «частоком» дубовые сваи. Кладка по этой высоте — заполнение между сваями — была выполнена без раствора. Над сваями был устроен небольшой по высоте ростверк из щебня на известковом растворе (рис. 61). Два ряда кладки ниже цоколя сложены из грубоотесанных камней, преимущественно на известковом и только местами на глиняном растворе. Цоколь выполнен из тесаных известняковых камней на известковом растворе.

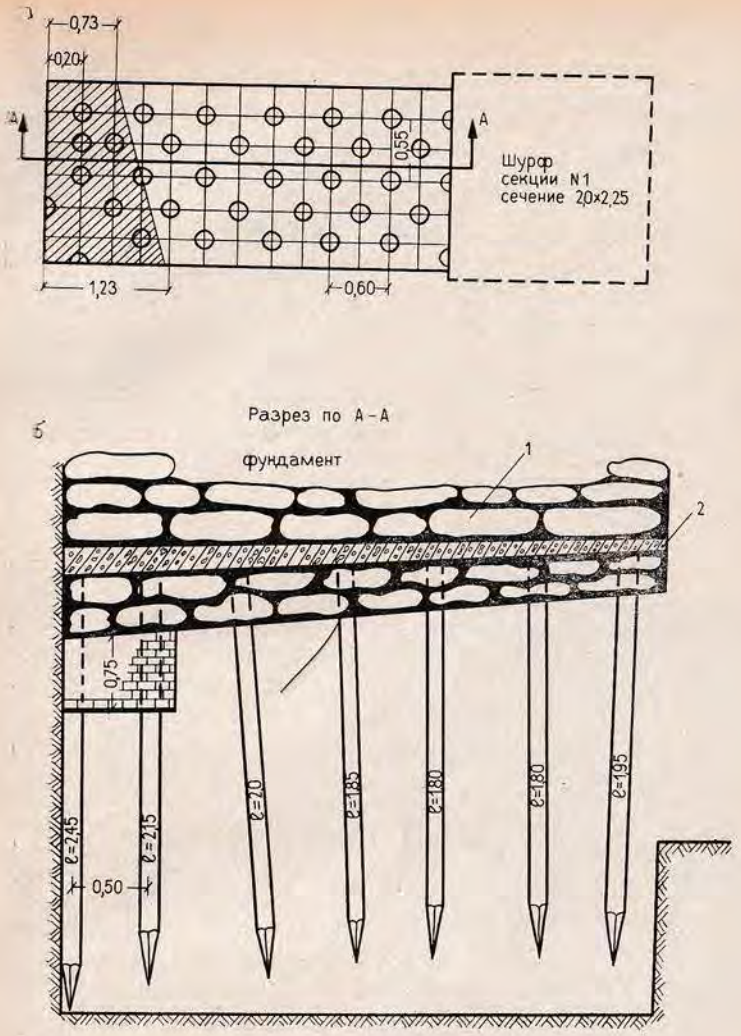
Под фундаментом с шириной подошвы от 3,83 до 4,2 м в шахматном порядке располагались дубовые сваи диаметром 15—20 см, длиной 1,4—2 м на расстоянии 0,5—0,65 м одна от другой (рис. 61). С внешней южной стороны на расстоянии 14 м от юго-западного угла был обнаружен примыкающий к фундаменту каменный склеп с захоронением.

Геодезическими наблюдениями было установлено, что юго-западный угол собора оседает с наклоном в том же направлении и получил смещение по горизонтали в 10 см.

Было решено произвести подводку фундаментов столбами в колодцах на тех участках, где мощность культурных напластований под фундаментом превышает 10 см.

В соответствии с этим требовалось подвести новые фундаменты под частью восточной стены, полностью под южной стеной и более чем наполовину под западной. Эту работу начали в декабре 1952 г. по проекту и под руководством автора книги. Работы одновременно были начаты в пяти местах с разрывами между ними в 10—12 м. Эти расстояния определялись в зависимости от конкретных условий производства работ. Исходя из этого, между первоочередными участками было определено разное число подводимых столбов. За время подводки фундаментов, которая велась почти год и без предварительного напряжения основания, собор продолжал садиться, дав дополнительную осадку юго-восточной половины на 64 мм, а юго-западной на 56 мм.

Существующие фундаменты на указанном протяжении до низа цоколя полностью были заменены. Глубина заменяемого фундамента определялась исходя из нижеследующих соображений. Разборке подлежал весь старый фундамент, полностью убирался нижележащий культурный слой и еще 10 см грунта, которые были пропитаны гумусом. Ниже этой отметки оставили заполненные трухой вертикальные каналы от сгнивших свай глубиной от 1,4 до 2 м. Грунт между этими каналами



61. Шурф

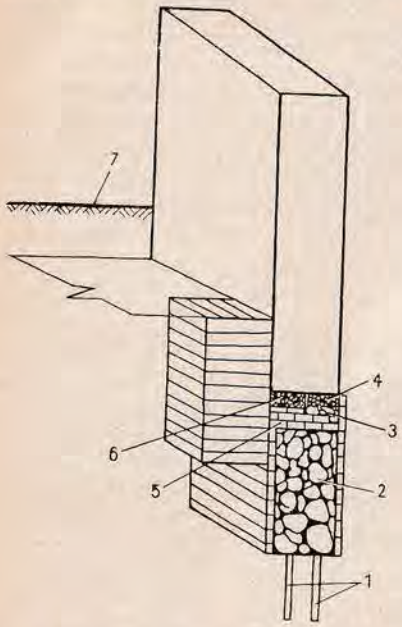
а — план расположения свай; *б* — разрез по *а—а*; *1* — кладка фундамента; *2* — ростверк;

ми не убирался, поскольку он был хорошо уплотнен сначала забивкой сваями, а потом еще и нагрузкой от собора. Каналы вычищались специально устроенным металлическим буром (с малым числом витков) и заполнялись бетоном.

Между забетонированными каналами от сгнивших свай поверх основания через каждые 20 см были уложены отдельные камни размером 10×10×10 см, и каждый камень отдель-

но втрамбовывался в грунт. Выше был устроен бетонный ростверк от 10 до 20 см, а далее бутовая кладка под лопатку.

Работа по подводке фундаментов в каждом колодце производилась сразу на всю ширину фундамента. Эта ширина была разной и составляла от 4,7 до 5 м. Длина каждого подводимого столба в среднем составляла 1,4 м, а высота в зависимости от толщины подстилавшегося культурного слоя от 4 до 4,4 м.



62. Заполнение шахты и порядок производства работ по заклинке

1 — каналы от деревянных свай, заполненные бетоном; *2* — бутобетон; *3* — каменная кладка 1-й очереди; *4* — заклинка 1-й очереди; *5* — каменная кладка 2-й очереди; *6* — заклинка 2-й очереди; *7* — поверхность земли

Бутовая кладка велась на смешанном растворе марки 75. Известь, как правило, составляла только 10% объема цемента, чтобы раствор не садился. Кладку сначала не доводили до верха с уступами (рис. 62). Далее поочередно докладывали каждый уступ с подклинкой верхних 5 см полусухим цементным раствором по методу чеканки.

Ранее имевшийся с внешних сторон фундамента глиняный замок заменили двухкратной битумной промазкой по новой кладке, пазухи заполнили крупным песком и сверху устроили бетонную отмостку. После окончания подводки фундаментов осадки памятника прекратились и была начата его архитектурная реставрация, которой руководил Е. В. Михайловский.

Выпрямление крена звонницы в бывшей усадьбе Бориса Годунова Вязёмы Московской обл.

В 1952 г. Центральная проектно-реставрационная мастерская Академии архитектуры СССР начала работы по восстановлению исторического и архитектурного памятника — звонницы, построенной в XVI в. в усадьбе Вяземы (см. рис. 9). Руководство проектированием и производством работ было поручено автору, реставрационными работами руководила архит. Л. А. Соболева.

Работы были начаты с изучения конструкций и исследования грунтов основания. Грунты на участке звонницы состоят из культурного слоя толщиной до 2 м, под которым залегает пластичный красноватый суглинок объемной массой 18 кН/м^3, слоем от 2 до 4 м, подстилаемый водонасыщенными мелкозернистыми песками или текучей супесью с малым числом пластичности. Грунтовые воды залегают на глубине 4,5 м от поверхности. Пластичный красноватый суглинок, на котором основана звонница, неоднородный, в нем встречаются прослойки песка или супеси толщиной до 0,7 м. К северу от звонницы местность имеет большой уклон и на расстоянии 50 м от нее расположен пруд. Атмосферные осадки проникают в грунт и вместе с грунтовыми водами вымывают частицы грунта из-под основания звонницы, а затем стекают в сторону пруда. Это подтверждается и повреждениями соседнего каменного здания. Образовавшиеся в нем трещины указывают на смещение северной половины здания в сторону пруда. Крен звонницы был еще также вызван наличием значительного числа могил, которые были обнаружены с северной стороны звонницы при подводке фундаментов. Эти захоронения располагались ниже заложения фундаментов, а с северо-восточной стороны — с частичным расположением под фундаментом. В этих же местах были обнаружены скопления грунтовых вод, сильно ослаблявшие основание звонницы.



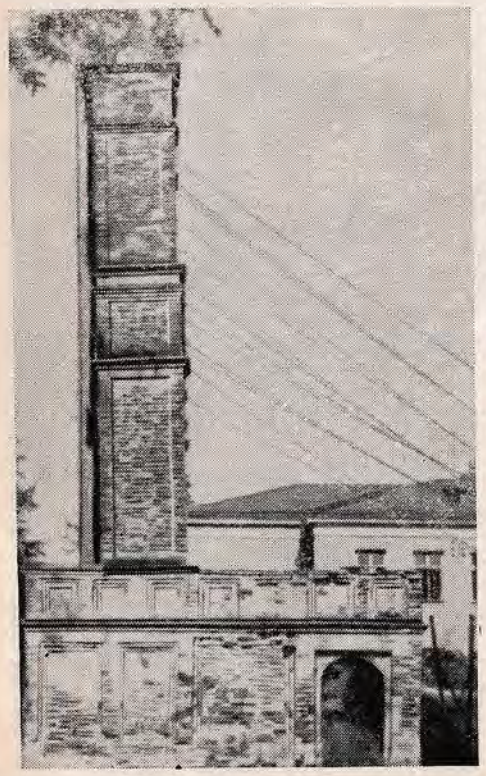
63. Звонница в Вяземах. Вид со стороны крена на контрфорс, примыкающий к восточному пилону звонницы

К началу реставрационных работ памятник находился в аварийном состоянии. Высотная часть отклонилась от вертикали в северную сторону у западного края на 75 см, а у восточного на 80 см.

По данным архивных исследований, крен звонницы начал образовываться уже через несколько десятков лет после ее постройки. Для придания звоннице большей устойчивости с ее северной стороны были сооружены два контрфорса. Один контрфорс примыкал к западному пилону, а другой — к во-

сточному (рис. 63). Значительно позже в дополнение к контрфорсам высотную часть звонницы (чтобы удержать ее от падения) укрепили проволочными расчалками. Одни концы расчалок прикрепили в обхват к верхнему ярусу пилона, а другие — к деревянным столбам, закопанным в грунт.

Судя по общему виду, сооружение в течение последних 100 лет не реставрировалось. Атмосферные осадки и морозы, обрастание каменной кладки кустарниками и деревьями и вымывание грунта из-под ее основания разрушали звонницу. Разрушениям подвергались все конструкции, на которых задерживались атмосферные осадки, а наибольшие повреждения получили те части сооружения, которые увлажнялись до их полной влагоемкости и затем замерзали. К первым относится гульбище, а ко вторым — пилоны звонницы от верха гульбища до фундаментной ленты и все стены гульбища. Повреждениям пилонов звонницы на уровне гульбищ содействовали образовавшиеся в них трещины из-за внецентренного приложения сжимающих сил: с одной стороны — растягивающих напряжений от прогрессировавшего крена, а с другой стороны — сжимающих.



64. Вид на звонницу с запада

Работы по восстановлению были начаты с замены проволочных расчалок тяжами из квадратной стали сечением 20×20 мм со стяжными муфтами (рис. 64). Тяжи состояли из отдельных звеньев длиной 5—7 м с крюками, которые свободно зацеплялись между собой. Стяжные муфты были установлены ближе к неподвижным анкерам — у поверхности земли между первым и вторым звеньями. Анкеры, к которым прикрепляли первые звенья тяжей, были устроены за существовавшими мертвяками, поддерживающими проволочные расчалки, и отстояли от звонницы примерно на 20 м. Анкеры представляли собой длинное срощенное бревно, уложенное по дну траншеи глубиной 1,5 м. Первые звенья тяжей с помощью хомутов прикрепили к этому бревну, а траншею засыпали грунтом и утрамбовали. Последние звенья каждого тяжа прикрепили хомутом к столбам верхнего яруса звонницы. Чтобы сталь хомутов, непосредственно прижимаясь к кладке пилонов, не производила околов кирпича и для распределения нагрузки от этих тяжей на большую площадь, у всех четырех углов каждого пилона поставили вертикально по одной стойке из бруса сечением 16×16 см. Таким образом, с каждой стороны звонницы были устроены деревянные рамы, состоявшие из вертикальных и горизонтально расположенных брусьев, соединенных болтами. Эти рамы скреплялись между собой поперечинами, пропущенными в проемах между пилонами звонницы, и этим обеспечивалась неизменность их положения.

Всего со стороны, противоположной крену, было установлено восемь тяжей. Четыре тяжа — по одному на пилон — были расположены перпендикулярно звоннице, а четыре других под углом 30°. Наклонные тяжи предполагалось использовать для выравнивания между собой кренов восточного и западного пилонов звонницы. Однако в дальнейшем, как показал опыт работы, выравнивание кренов косо расположенными тяжами не дало положительных результатов. После установки тяжей приступили к их натяжению и этим уменьшили смещение верха звонницы по горизонтали на 30 см. Одновременно с выпрямлением снизились сжимающие напряжения в северных плоскостях пилонов ниже гульбища, где они имели максимальные повреждения.

Тяжи натягивали поочередно вручную подвинчиванием гаек в стяжных муфтах. В один прием каждый тяж натягивали на три нитки нарезки болтов. Натяжение производилось до напряжения в тяжах, равного 18 кН/см², которое контролировалось тензометрами. При таком напряжении в тяжах их крюки стали разгибаться, и крен звонницы стал увеличиваться (наблюдения велись теодолитом по марке, установленной в верху звонницы), в связи с этим поочередно снимали по одному тяжу, приваривали крюки к своему звену, превращая их в кольца, и заново доводили напряжение в тяжах до 18 кН/см².

После этого, применяя дополнительные временные поддерживающие конструкции (тяжи), можно было приступить к поочередной перекладке наиболее поврежденных двух средних пилонов звонницы, и дальнейшее выпрямление крена продолжать после укрепления пилонов и подводки фундаментов.

Средние отдельно стоящие пилоны на участке от поверхности земли до нижней отметки свода гульбища имели большие разрушения и были испещрены большим количеством глубоких вертикальных трещин, расширяющихся книзу. В кирпичной кладке пилонов вследствие часто производившихся ремонтов имелось много вставок из нового кирпича. Два ряда резных белокаменных поясов на цоколях пилонов были сбиты и полностью утратили первоначальные профили. Кирпичная кладка и раствор облицовки имели незначительную прочность и осыпались при при-

косновении к ним. Вертикальные трещины шириной до 2 см появились из-за большого перенапряжения в ограниченной по прочности кирпичной кладке, на которую еще воздействовало смещение в северную сторону (в направлении крена) центра тяжести от нагрузки вышерасположенной кладки.

С южной стороны в обоих пилонах имелось много горизонтальных трещин, образование которых следует объяснить тем, что в этой плоскости пилонов возникли растягивающие напряжения, из-за смещения центра тяжести в противоположную сторону. На боковых плоскостях пилонов (восточные и западные) размеры вертикальных и наклонных глубоких трещин доходили до 1 см.

Учитывая полуразрушенное состояние кладки средних пилонов звонницы, наиболее целесообразным способом их укрепления было бы устройство железобетонной рубашки — обоймы на всю высоту пилонов (от земли до свода гульбища) с последующей инъекцией в эти столбы цементного молока.

При отсутствии же такой прочной обоймы применение инъекции с давлением, даже равным 0,5 ати, при указанных трещинах в пилонах, ничтожной связи его раствора с кирпичом и прелости самого кирпича не только не дало бы положительных результатов, но, наоборот, еще быстрее разрушило бы пилоны. Заделка трещин раствором (вместо устройства обоймы) также не дала бы положительных результатов, так как затвердевший раствор вывалился бы из кладки вместе с приставшей к нему тонкой пылью осыпавшейся кирпичной кладки.

Однако известно, что устройство железобетонной обоймы неприемлемо при реставрации выдающегося и уникального памятника древнерусской архитектуры, поскольку при этом была бы нарушена целостность его архитектурно-художественного облика. Поэтому было принято решение заменить кладку двух средних пилонов в пределах их старых габаритов. Такое решение затрудняло производство работ, но давало возможность сохранить первоначальные формы памятника и резные белокаменные цоколи сложного профиля. Основная конструктивная цель перекладки пилонов состояла в том, чтобы дать прочное основание высотной части звонницы.

При существующем состоянии кирпичной кладки пилонов без частичной предварительной разгрузки было бы небезопасно производить замену старой кладки даже отдельными участками. Поэтому для разгрузки средних пилонов с их северной стороны установили по два деревянных подкоса с предварительным напряжением путем тугой забивки дубовых клиньев (рис. 65). После установки подкосов приступили к замене кладки пилонов отдельными участками.

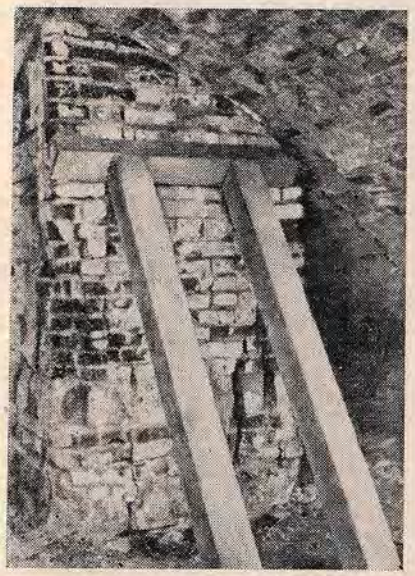
В первую очередь разобрали с северной стороны часть кладки одного пилона на глубину 40 см и на всю высоту от фундамента до верха деревянных подкосов. Разборку производили вручную,

так как кирпичи крошились от удара по ней только одной скарпелью без применения кулачка. При разборке же внутренней части кладки раствор при прикосновении к нему пальцем осыпался, но спустя некоторое время благодаря сухой и жаркой погоде раствор высыхал и прочность его повышалась. То же наблюдалось и с кирпичной кладкой.

Внутренняя часть пилона (за облицовкой) была сложена частично из кирпича и частично из рваного камня, причем швы между камнями были сплошь заполнены слабым известковым раствором. При замене кладки ее полностью очистили от этого раствора и образовавшиеся углубления заполнили бетоном.

Примерно через полчаса после того, как была удалена разрушенная кирпичная и бутовая кладка северной плоскости западного пилона, было обнаружено, что трещины в пилоне начали прогрессировать. Так, на южной стороне западного пилона маяки показали, что волосные трещины увеличились на 1 мм. Чтобы предотвратить сооружение от обвала, в спешном порядке между пилонами были установлены дополнительные деревянные боковые подкосы.

После их установки и подклинки дубовыми клиньями дальнейшее раскрытие трещин прекратилось, работы по замене кладки с устройством новой облицовки были продолжены. Новую облицовку с северной стороны западного пилона выкладывали из старого, сохранившего свои качества кирпича таких же разме-



65. Подкосы, установленные к пилону



66. Пилон во время реставрации

ров на цементном растворе, с сохранением первоначальной системы кладки и порядовки. Все остальные плоскости пилонов выкладывали тоже на цементном растворе из нового кирпича таких же размеров, как старый, с сохранением типа древней кладки (рис. 66). При облицовке нижней части пилонов восстановили два ряда резных белокаменных цоколей.

Поскольку внутренняя часть пилона была сложена не из кирпича, а из разных бутовых камней и половняка, промежутки между которыми были заполнены известковым раствором, то за пределами облицовки толщиной в $^1/_2$ кирпича укладывали тяжелый бетон марки 1400 Н/см^2 с осадкой конуса 3 см.

Поверх каждого ряда новой кирпичной облицовки укладывали сетку из стальных прутьев диаметром 8 мм. Сетка состояла из четырех арматурных прутков, расположенных поперек облицовки, и из двух, расположенных в продольном направлении. Поперечную арматуру запускали в глубь пилона на 30—50 см. Пруток не доходил до внешней грани облицовки на полкирпича.

Чтобы предотвратить коррозию прутков в месте соприкосновения со старым известковым раствором, предварительно на всю глубину просверливали отверстия диаметром 12 мм. Эти отверстия заполняли цементным раствором и затем в них заталкивали арматурные прутки. Продольную арматуру укладывали поверх поперечной. Усиление каждого ряда кладки арматурной сеткой производили с уровня земли на высоту примерно 1 м. Выше такие же сетки укладывались через два ряда кладки, а еще выше — через три-четыре ряда. Такую же арматуру укладывали при последующем возведении кладки всех других частей обоих пилонов.

После замены кладки до уровня упоров подкосов последние были убраны. Затем разобрали вышерасположенную кладку до низа свода гульбища и таким же способом заполнили этот участок новой кладкой. При облицовке пилона оставляли пустые швы для последующего их заполнения известковым раствором.

В такой очередности осуществили частичную перекладку всех других плоскостей западного пилона, после чего приступили к перекладке второго среднего пилона.

Вслед за усилением двух средних пилонов по высоте от поверхности земли до верха гульбища приступили к подводке новых уширенных фундаментов. Существующий призматического сечения фундамент пилонов, ширина которого была больше ширины пилонов на 5—10 см, был выложен в виде ленты вдоль высотной части звонницы. Глубина заложения фундаментов высотной части звонницы составляла 1,4 м.

Чтобы в дальнейшем после выпрямления крена не произошло вторичного наклона звонницы, необходимо было расширить существующие фундаменты в сторону крена. Кроме расширения фундаментов было запроектировано устройство вокруг звонницы кольцевого дренажа для отвода атмосферных осадков, проника-

ющих в грунт. Вновь подводимой частью фундаментов предусматривалось расширить старые вдвое для того, чтобы расчетное сопротивление грунта со стороны пруда уменьшить более чем в 3 раза без уменьшения расчетного сопротивления с южной, противоположной крену стороны.

Новые фундаменты подводили отдельными участками в порядке определенной очередности. Его закладывали на 40 см ниже существующего с заходом на 40 см под подошву. Для плотного примыкания новой части фундамента к существующей между ними оставляли зазор шириной 5 см, в который методом чеканки набивали полусухой раствор. Такая конструкция усиления обеспечивала восприятие ими части нагрузки от веса звонницы и надежную связь со старым фундаментом.

К выпрямлению части звонницы, расположенной выше гульбища, приступили после окончания подводки фундаментов под ее высотную часть. Выпрямление производили гидравлическими домкратами. Высотная часть звонницы опирается на четыре пилона размером в плане 1,05×1,6 м каждый. Нагрузка от одного пилона составляла от 450 до 500 кН.

Со стороны крена во всех пилонах устроили гнезда размером 0,5×0,7 м и глубиной 0,75 м. Каждую нижнюю и верхнюю постель всех четырех гнезд усилили двумя швеллерами, уложенными на цементном растворе. Для упрощения работы по устройству верхних постелей внутрь каждого гнезда установили сколоченный ящик из досок толщиной 40 мм. Ящик имел только четыре стенки (нижнюю, верхнюю и две боковые) и опирался на готовую нижнюю постель гнезда. Верхняя и нижняя стенки ящика служили одновременно упругими прокладками, благодаря которым давление домкрата более равномерно распределялось на жесткую постель из швеллеров. В каждое гнездо на глубину 30 см установили по одному обыкновенному гидравлическому домкрату грузоподъемностью 100 т.

Выпрямление крена звонницы требовало производства одностороннего подъема ее северной стороны. Согласно произведенным расчетам, для полного выпрямления крена следовало поднять западный пилон на 56 мм, а восточный на 63 мм. Средние пилоны поднимали на высоту, прямо пропорциональную размерам высоты подъема крайних пилонов. Каждый домкрат работал от самостоятельного привода. Чтобы обеспечить равномерный подъем, установили самостоятельную систему водяной нивелировки. При подъеме в этой системе допускались отклонения до величины ±1 мм. Выпрямление крена продолжалось 1,5 часа. При выпрямлении следили за отвесами, опущенными с центров верхних торцовых сторон высотной части звонницы. Когда отвесы прошли за центр столбов на уровне гульбища на 1 см, подъем был прекращен (рис. 67). Установка звонницы с незначительным креном в обратную сторону диктовалась соображениями, приводимыми ниже. Во-первых, нам было известно, что



67. Звонница выпрямлена

кольцевой дренаж сразу же сделан не будет, и, во-вторых, вынос частиц грунта из-под фундамента будет продолжаться. (Прошло 30 лет и дренаж еще не устроили.)

По окончании подъема заложили кирпичом на цементном растворе внутренние части каждого гнезда — свободный участок между домкратом и внутренней плоскостью гнезда, причем в месте примыкания кладки к верхней постели гнезда набивали раствор способом чеканки.

Так как работы производились зимой, то кирпич нагревали, а к раствору добавляли 3% хлористого натрия и 2% хлористого кальция. После трехнедельной выдержки кладки поочередно убрали домкраты и оставшиеся части гнезд заложили. Тяжи демонтировали после того, как все гнезда были заложены.

Подъем церкви в Ребежишть (Румыния)

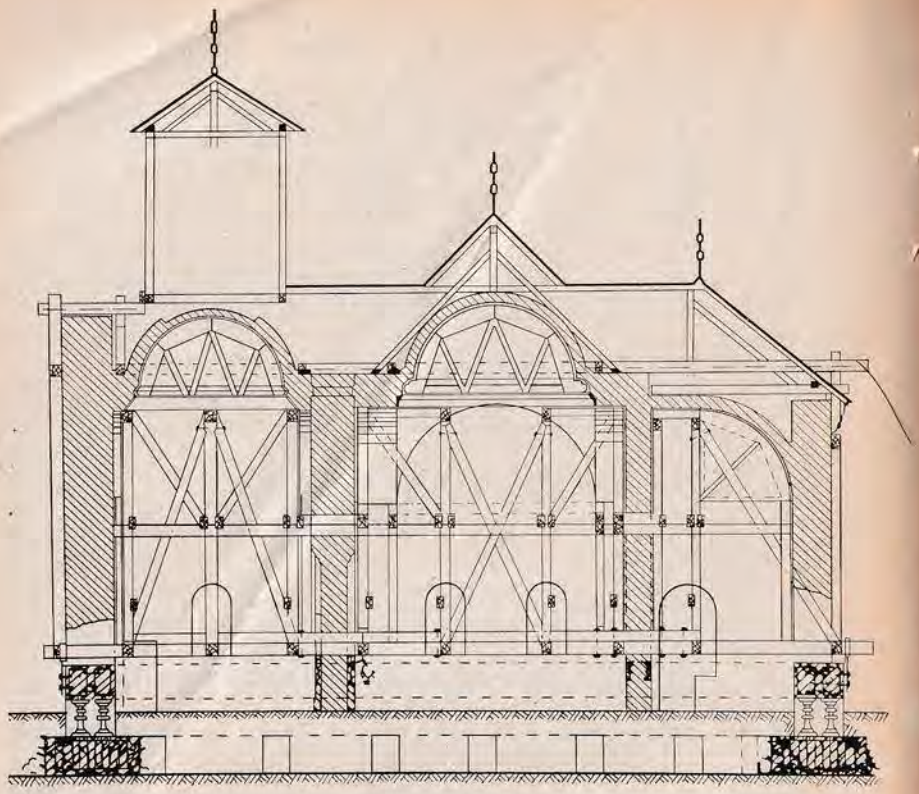
В 1955 г. при устройстве озера-резервуара для воды в Буфте потребовалось убрать много зданий из зоны затопления. Среди них была церковь XVI в., ценный исторический и архитектурный памятник. Эту церковь решили сохранить путем ее подъема на месте на 3,5 м. Масса церкви составила около 10000 кН. В стенах здания было много трещин, образовавшихся из-за неравномерных осадок.

При обнажении фундаментов и выявлении подстилающих грунтов установили необходимость их заглубления и уширения. Работы были начаты с устройством внутри церкви деревянных кружал со стойками под ними для поддержания сводов. Кроме того, все внешние и внутренние стены связали между собой тяжами, стягивавшими приставленные к стенам брусья.

Во вторую очередь отдельными участками заменили все старые фундаменты железобетонной лентой. С поверхности земли еще заменили также в порядке очередности кирпичную кладку стены по высоте на 80 см железобетонным поясом. Между фундаментной железобетонной лентой и надземным поясом оставалась старая кладка. В этой кладке пробили отдельные сквозные гнезда, в которых установили 48 шт. 500 кН-ных гидравлических домкратов с ходом поршня в 200 мм. Подъем производили этапами по 3 мм; поднимали стены и стойки, на которые опирались кружала (рис. 68). После выхода всего поршня образовавшийся разрыв между домкратами закладывали заранее изготовленными бетонными камнями на прочном растворе.

Дальнейший подъем производили другой группой домкратов, установленных на подведенную кладку. Так, по мере подъема весь разрыв между фундаментной лентой и надземным железобетонным поясом заполнили бетонными камнями. Подъем на высоту 3,5 м занял 10 дней.

Небезынтересно отметить, что во время подъема произошло землетрясение, которые разрушило несколько зданий, рас-



68. Кружала, установленные в церкви Ребежишть (Румыния)

положенных поблизости от церкви. На поднимаемой же церкви оно никак не отразилось. Этому способствовали: подведенные железобетонные ленточные фундаменты вместо каменных с выветрившимся от времени раствором; надземный железобетонный пояс и самое главное — наличие разрыва в стене с установленными в отдельных местах домкратами, игравшими роль виброгасителей. Кроме этих, более чем достаточных антисейсмических мероприятий, своды еще поддерживались кружалами, а стены здания имели дополнительные обручи из тяжей.

Рассматривая критически произведенные работы, следует отметить, что можно было бы с неменьшим успехом обойтись без кружал со стойками под сводами перекрытий; дополнительного крепления стен тяжами, кроме того, для подъема церкви не требовалось такого большого числа домкратов.

Время, необходимое на подъем, можно было сократить, если бы вместо инструментальной проверки высоты подъема после каждого этапа применить систему водяной нивелировки (не требовалась бы остановка подъема через каждые 3 мм), а также использовать домкраты системы «Перпетуум» что позволило, производить подъем непрерывно.

Выпрямление колокольни церкви Иоанна Предтечи в Ярославле

Колокольня церкви Иоанна Предтечи была построена в конце XVII в. Она имеет семь ярусов общей высотой 41,5 м. Ее отклонение от вертикали было замечено еще в конце XIX в. В последнее время крен колокольни стал прогрессировать и ко времени выпрямления составлял 2°45′ (рис. 69).

Колокольня имеет форму правильного восьмиугольника с диаметром описанного круга 8,3 м, толщину стен понизу 2 м. Фундаменты заложены на глубину 1,4 м и подстилаются лессовой супесью твердой консистенции. Масса колокольни 17000 кН.

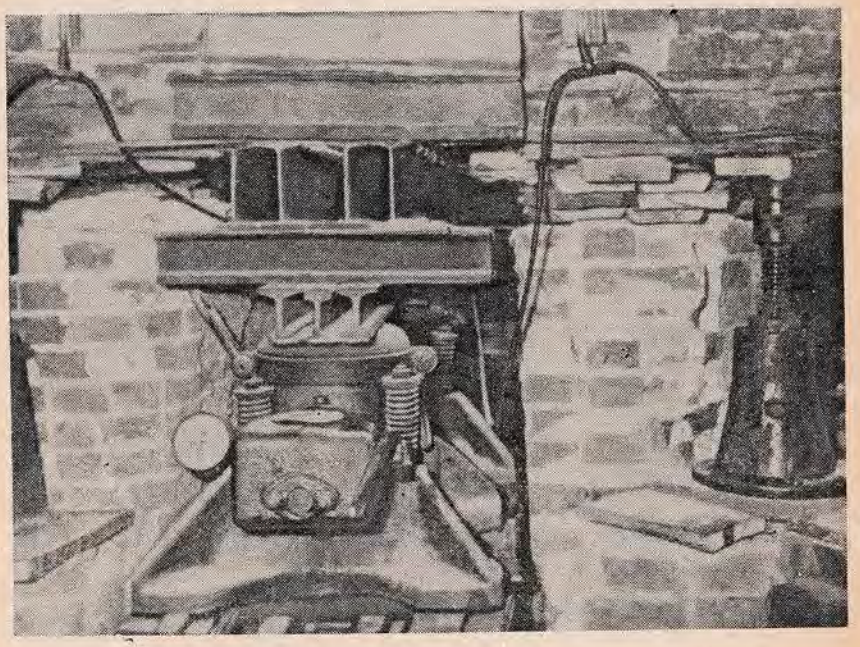
Крен колокольни произошел в сторону церкви по причине неорганизованного отвода атмосферных осадков, а следовательно, одностороннего увлажнения подстилающих фундаментов просадочных лессовых грунтов слоем толщиной более 15 м. При обследовании кладки колокольни обнаружили в



69. Церковь и колокольня Иоанна Предтечи в Ярославле. Общий вид

стенах верха второго яруса вертикальные сквозные трещины. Чтобы эти трещины не прогрессировали, стены скрепили двумя кольцами из полосовой стали, для чего возвели леса. Далее у поверхности земли на уровне среза с обеих сторон всех стен завели рандбалки. Верх и низ штрабы совпали со швами кладки. Для лучшей связи рандбалок со стенами залили за их стенки цементный раствор и понизу попарно их связали между собой приваркой к ним наддомкратных балок. Неизменность положения верхних полок рандбалок из-за большой толщины стен обеспечили вставленными в кирпичную кладку на цементном растворе штырями из круглой стали на глубину 0,6 м. Внешние концы штырей приварили к верхним полкам рандбалок. Отверстия для их заводки просверливали перфоратором и до вставки в них штырей в каждое круглое отверстие заливали цементный раствор.

Сначала составили проект вертикальной планировки и осуществили его. Выпрямление начали 12 гидравлическими 2000 кН-ными домкратами системы «Перпетуум». После подъема со стороны крена на несколько сантиметров было замечено, что кирпичная кладка более осевшей грани над рандбалками получила вертикальные трещины. Это говорило о том, что нормативное сопротивление кладки оказалось меньше принятого, а следовательно, расстояния между домкратами превышено.



70. Один из домкратов, выпрямлявших колокольню церкви Иоанна Предтечи



71. Колокольня церкви Иоанна Предтечи после выпрямления

В связи с этим со стороны крена между гидравлическими домкратами (из-за отсутствия дополнительных гидравлических домкратов) установили еще 12 винтовых 200 кН-ных домкратов (рис. 70).

Система водяной нивелировки обеспечила пропорциональность подъема: над каждым гидравлическим домкратом устанавливались шкалы с разными размерами делений, соответствующие высоте подъема данным домкратом.

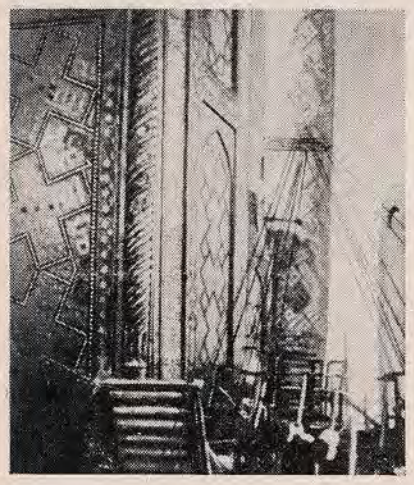
Выпрямление крена было закончено 19 сентября 1958 г. (рис. 71). Далее зачеканили цементным раствором все трещины, убрали обручи и леса. Проектирование и производство работ велось под руководством автора. В производстве работ приняли участие архитекторы Б. В. Гнедовский, В. В. Насонов и инж.-механик Ф. М. Штапелюк.

Выпрямление минаретов в Самарканде

Выпрямление юго-восточного минарета медресе Улугбека.

В Самарканде на площади Регистан расположены три медресе, являющиеся памятниками архитектуры первой четверти XV в. Наиболее древнее из них связано с именем известного ученого, математика и астронома Улугбека.

В каждом из четырех углов этого медресе располагается по одному круглому в плане минарету. К 1920 г. наибольший крен в северо-восточном направлении получил северо-восточный минарет, имеющий высоту над поверхностью земли 32,7 м и массу 4000 кН. Его и было решено выпрямить. Примыкавший к минарету массивный кирпичный пилон дарсханы (комнаты для занятий) высотой 10,85 м был разобран до начала работ по выпрямлению.



72. Северо-восточный минарет медресе Улугбека до начала работ по выпрямлению. Видны расчалки, установленные во все стороны

В 1932 г. после трехлетних подготовительных работ приступили к выпрямлению минарета. Выпрямление производилось по кинематической схеме, предложенной В. Г. Шуховым, по проекту и под руководством инженера М. Ф. Мауэра. Минарет выпрямлялся методом переката над его «центром тяжести». Для страховки со всех четырех сторон было установлено много расчалок (рис. 72).

Предварительно на отметке среза — площади, на которой

должны поворачивать минарет, устроили железно-алебастровое кольцо. Применение алебастра обеспечивало быстрое получение кольца требующейся прочности и более легкую его разломку после выпрямления. Под это кольцо сквозь все сечение минарета поочередно завели 15 балок, которые со стороны крена, где приходилась большая нагрузка, укладывались чаще. Под ними и нормально к ним, ближе к их концам, завели две балки коробчатого сечения, консольно выступающие за пределы минарета в ту и другую сторону. Эти балки на тех же вертикальных отметках в двух местах связали между собой такими же, нормально к ним расположенными коробчатого сечения балками. Двухконсольные балки играли роль балансира, под ними располагались стальные плиты с круговым очертанием, а между ними для более равномерного распределения давления были уложены толстые свинцовые полосы. Подбалансирные плиты опирались на высокие балки-прогоны. Со стороны крена под каждую выступающую консоль балансира установили на отдельных фундаментах по одному 200 кН-ному винтовому домкрату, предназначенному для подъема балансира. С противоположной стороны под другие две консоли установили по одной подушке с клиньями. Постепенно по мере выпрямления убиралось по одному клину. Из-за невозможности точно определить положение центра тяжести минарета, тем более в том случае, когда центр тяжести при выпрямлении непрерывно смещается, минарет, выпрямляясь, самопроизвольно ударился балансиром о клинья, опустился ниже, ударился о стальные плиты и смял нижние прогоны. От этого резкого поворота и удара минарет в том месте, где он ослаблен дверным проемом и внутренней винтовой лестницей (над пилоном дарсханы), получил перелом — горизонтальную трещину, и его часть, удерживаемая оттяжками, наклонилась в сторону, обратную крену. От падения минарет удержали страховочные расчалки. Ликвидировать последствие полностью не удалось. После выпрямления нижняя часть минарета стала вертикально, а вышерасположенная над дарсханой — наклонена в сторону, обратную ранее имевшемуся крену.

Вслед за работами по подъему северо-восточного минарета потребовалось выпрямить и юго-восточный минарет этого же медресе, так как его крен достиг 3° и центр тяжести приблизился к границе ядра сечения (рис. 73). Этот минарет и примыкающий к нему пилон дарсханы имеют над фундаментом такую же высоту, как и северо-восточный. Высота облицованного мрамором цоколя минарета и пилона составляет 2 м.

С целью установления причины крена автором были произведены следующие исследования: пронивелированы обрезы, фундамента, цоколя и пояса керамической облицовки и уста-

новлены пределы прочности раствора и кирпича на разных участках по высоте минарета.

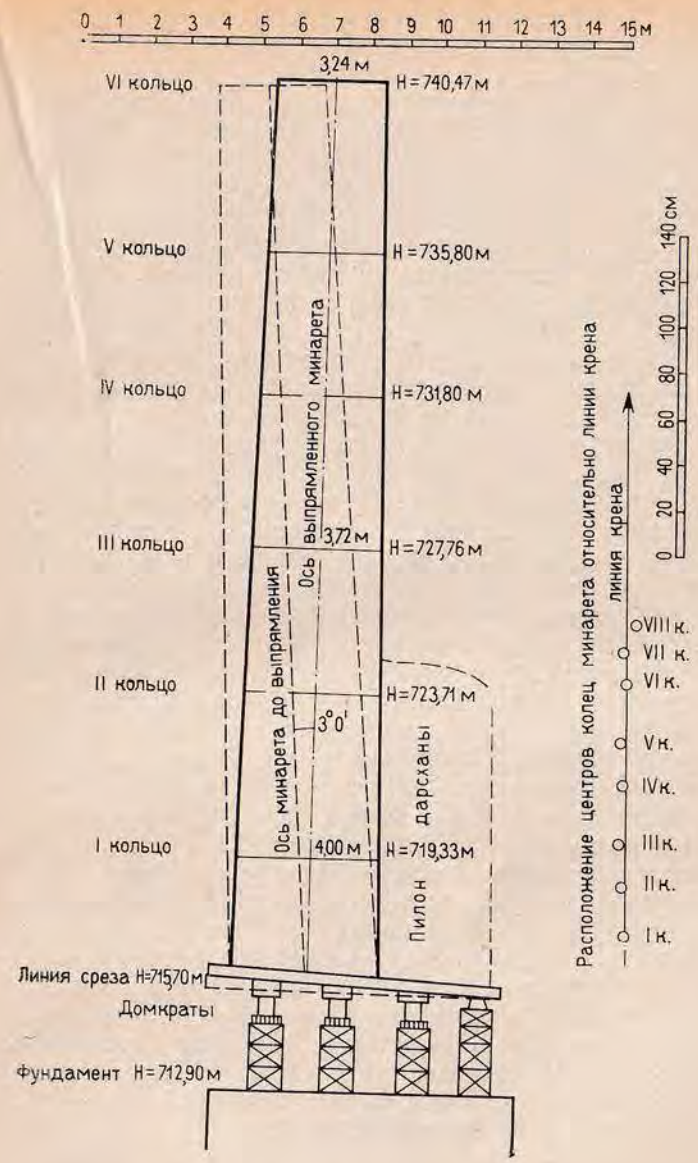
К юго-восточному минарету также примыкал пилон дарсханы. Кирпичная кладка минарета и пилона была перевязана, они имели общий фундамент и наклонились как единый монолит. Учитывая это, необходимо было проводить одновременное выпрямление минарета и пилона. Глубина заложения фундамента, считая от низа цоколя, составляла 9,2 м. Верхняя часть фундамента высотой в 2,05 м была сложена из массивной кирпичной кладки, а расширенная нижняя — из бутовой. В месте перехода кирпичной кладки в бутовую обрез фундамента со стороны крена составляет 1,3 м, а с противоположной — 0,8 м. В бутовой кладке со стороны крена имеется еще один уступ в 0,65 м. Равнодействующая нагрузка на основание приходилась по центру бутовой кладки.



73. Юго-восточный минарет медресе Улугбека до выпрямления. Общий вид. Разрез по плоскости крена

Фундамент подстилается толстым слоем (более 15 м) лессового суглинка с относительной просадочностью 0,015; грунтовые воды до глубины 25 м от поверхности не обнаружены. Обрез фундамента со всех сторон оказался на одной вертикальной отметке и тем самым фундамент не получил неравномерной осадки. Отметка верха уступа фундамента со стороны крена даже имела повышенную высоту (на 3 см), но эта небольшая разница не показательна: она скорее говорит о неточности при производстве работ.

Исследования прочностных показателей раствора и кирпича с учетом замеров вертикальных отметок поясов керамической облицовки подтвердили, что в основном неравномерная



осадка произошла за счет перенапряжения и в соответствии с этим смятия кладки, начиная с высоты 30 см над кладкой фундамента до высоты 2,5 м, а следовательно, всего на участке высотой 2,2 м. На этом же участке кирпичная кладка до глубины 0,5 м была сильно выветрена.

На образование крена повлияло то обстоятельство, что

фибровые напряжения со стороны крена были весьма значительными. Эти повышенные напряжения образовались по следующим причинам:

1. В основание минарета на уровне низа цоколя со стороны крена приходится значительно большее напряжение по сравнению со стороной минарета, противоположной крену. Последнее обусловливается тем, что со стороны, противоположной крену, к минарету примыкает массивный кирпичный пилон, который имеет в три раза меньшую высоту, а значит, и в три раза меньшую массу на единицу площади, чем минарет, и примерно во столько же раз бóльшую площадь основания. Поэтому с данной стороны часть собственной массы минарета перераспределяется и на пилон.

Произведенными расчетами установлено, что по этой причине деформации сжатия в минарете от его собственной массы со стороны крена превышают деформации противоположной стороны примерно на 8 см. Разница в размерах деформации кирпичной кладки началась после того, как стали возводить минарет выше пилона дарсханы и, видимо, еще до окончания возведения минарета. Дополнительная нагрузка на минарет, а следовательно, и дополнительные односторонние деформации вызывались также массой более тяжелой гранитной облицовки слоем толщиной до 30 см. Все это говорит о том, что вскоре после окончания возведения минарета он уже имел некоторое отклонение от вертикали. Поскольку почти все минареты имеют крены в сторону, противоположную дарсхане, среди ученых распространено мнение о том, что минареты медресе (к которым примыкают пилоны дарсханы) специально возводили с некоторым отклонением от вертикали, создавая образ человека, поднявшего руки к небу.

Исследования доказали, что сразу же после возведения минареты получали наклон. Как известно, со временем текучесть материала сильнее проявляется там, где выше напряжения. Поскольку Самарканд расположен в зоне землетрясений, то под влиянием сейсмических воздействий разница в деформациях еще больше увеличивается.

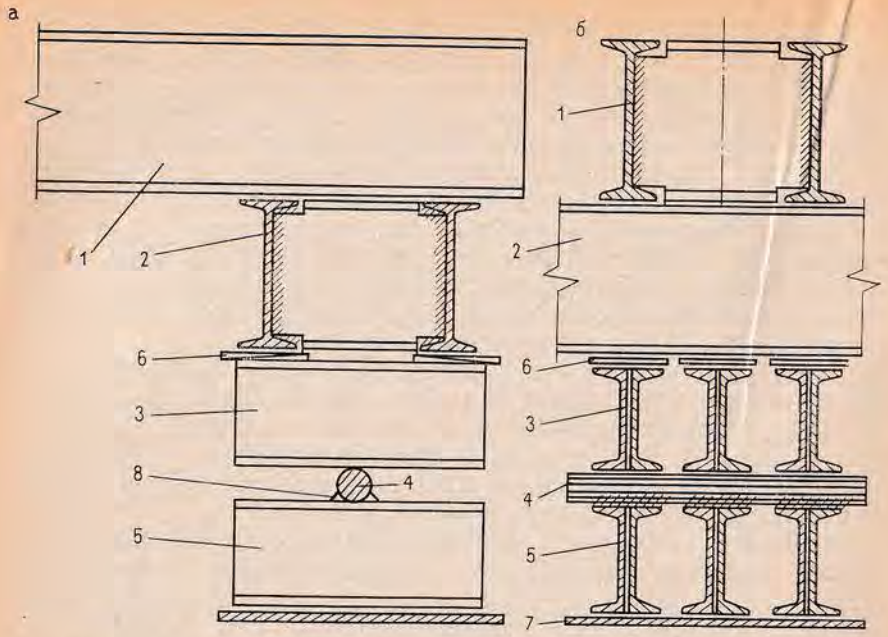
2. Стрельчатый свод пролетом в 15 м над главным порталом медресе Улугбека создавал распор, горизонтальные силы которого составляли около 1000 кН. Эта сила с каждой стороны должна погашаться: толстой с большой собственной массой стеной, на которую опирается пята свода; примыкающей ниже пяты свода и нормально к ней расположенной стеной; массивным пилоном дарсхны и минаретом. Стена, пилон и минарет служат как бы контрфорсом от действий горизонтальных сил распора. Под влиянием многократных сейсмических воздействий стены, поддерживающие свод этого главного портала, находясь под непрерывным влиянием горизонтальных сил распора, получили вверху хорошо заметное на

глаз горизонтальное смещение. Иначе говоря, обе стены, поддерживающие свод, получили вверху смещения в стороны минаретов. С уменьшением же стрелы подъема свода, как известно, увеличивается и сила распора. Далее горизонтальная сила распора, воздействуя на стены, пилон и минарет, создает большой момент в цокольной части минарета, который вызывает в нем со стороны крена большие дополнительные сжимающие фибровые напряжения. Под воздействием большего сжатия от собственной массы в юго-восточном направлении односторонней силы распора в южном направлении плоскость крена направлена не точно на юго-восток, а с оси симметрии смещена примерно на 20 см на запад.

После того как минарет получил крен около 3°, были установлены тросовые оттяжки только в сторону, обратную крену. В своде главного портала ввели стальные затяжки, которые восприняли силу распора. К началу выпрямления верх минарета отошел от вертикали на 1,78 м и имел со стороны крена пониженную вертикальную отметку 418 мм.

Управление охраны памятников Министерства культуры УзССР составило два проекта выпрямления юго-восточного минарета. Первым проектом предусматривалось выпрямление крена путем переката — поворотом вокруг оси, проходящей по линии «центра тяжести». В этом проекте вся масса минарета и пилона дарсханы приходится на линию переката. Для восприятия нагрузки около 10000 кН требуется заводка в тело минарета высоких сварных стальных ферм типа мостовых. Из-за образующихся в этом случае больших местных нагрузок на существующую кладку требуется замена кирпичной кладки фундамента на более прочное бетонное основание. Для выпрямления по этому способу требуется всего два 200 кН-ных винтовых домкрата, устанавливаемых со стороны крена под концы консолей ферм, выступающих за пределы минарета. С противоположной же стороны до опускания укладываются один на другой стальные клинья, которые по мере опускания извлекаются. Такой вариант был использован при выпрямлении северо-восточного минарета этого же медресе.

По второму, утвержденному варианту (автора книги) рекомендовалось поднять минарет со стороны крена на 418 мм. По мере удаления от точки с максимальной осадкой высота подъема пропорционально уменьшается и доходит до нуля на стороне, противоположной крену. На нулевой линии у самого края пилона устанавливаются шарнирные клетки, вокруг которых минарет с пилоном во время выпрямления будет не подниматься, а только поворачиваться (рис. 74). По этому проекту в надфундаментной кладке минарета параллельно плоскости крена пробиваются два сквозных узких канала высотой 2,25 м каждый. Вверху и внизу каждого канала заводятся парные двутавровые балки № 45, связанные между со-



74. Шарнирная опора, устраиваемая под минаретом, со стороны, противоположной крену

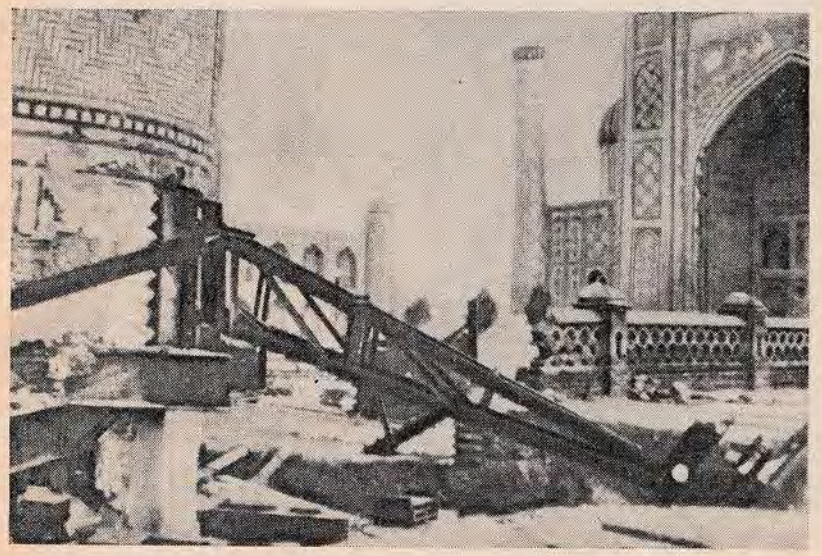
а — вид на плоскость крена; *б* — вид на торец клетки; *1* — балки, параллельные плоскости крена; *2* — поперечные балки; *3* и *5* — балки клеток; *4* — шарнир; *6* — клинья; *7* — опорный лист под клеткой; *8* — место приварки шарнира

бой диафрагмами. Между верхней парой балок и такими же балками нижнего яруса устанавливаются 2000 кН-ные гидравлические домкраты системы «Перпетуум», котыре должны поднимать минарет с пилоном. Проектом предусматривалось, что вся нагрузка передается на 10 домкратов и четыре шарнирные клетки. Разная высота подъема в зависимости от расстояния домкратов до шарнирных клеток обеспечивалась наблюдениями за положением уровня жидкости в вертикальных отводах специальной самостоятельной системы сообщающихся сосудов — водяной нивелировки.

Учитывая недостаточную прочность на этом участке древней кладки и предстоящее уменьшение ее сечения от пробивки каналов в минарете, со стороны крена устанавливается подкос из стальных уголков, в основании которого располагается 2000 кН-ный гидравлический домкрат. Подкос должен упираться в минарет на 10 см выше ослабляемого каналами сечения минарета. Этим домкратом подкос прижимается к минарету с силой около 1000 кН еще до того, как приступят к пробивке первого канала (рис. 75). Пробивка последующих

каналов производится поочередно после заводки балок и установки между ними домкратов под напряжением в ранее пробитые каналы. По мере восприятия домкратами массы минарета и пилона между поддомкратными и наддомкратными балками убирают кирпичную кладку, которая после выпрямления будет заменена бетоном. На время выпрямления никаких страховых расчалок устанавливать не следует.

Во-первых, при одностороннем подъеме совпадут не только швы кладки минарета и пилона со швами примыкающих стен, но и узорчатая облицовка цветной керамики минарета, пилона и портала. Во-вторых, благодаря предусмотренному в проекте использованию современной техники (домкратов большой грузоподъемности), производство работ значительно упростится. В-третьих, расход металла по сравнению с первым проектом уменьшается в четыре раза; требуется только прокатный металл, а значит, не требуется изготовление предусматриваемых первым проектом дорогостоящих сварных ферм. В-четвертых, по первому проекту требуется определить центр тяжести и под ним установить шарниры, что практически невозможно, так как центр тяжести будет перемещаться по мере выпрямления. Такая неточность в расположении шарниров по отношению к центру тяжести уже один раз привела к самопроизвольному перекату; к тому же следует учесть еще и трудности в работе, которые возникнут при зажатии клиньев.

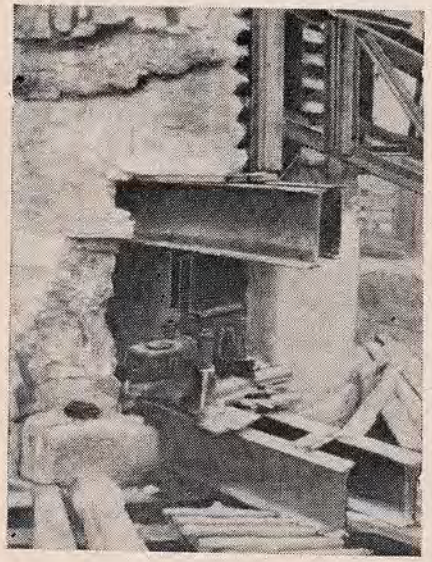


75. Подкос пространственной конструкции и его опоры

Работы велись в соответствии с утвержденным проектом. Двумя вертикальными сквозными бороздами с востока и юга отделили минарет с пилоном от примыкавших к ним стен дарсханы. Перед пробивкой каналов со стороны и по оси плоскости крена, как было сказано, установили стальной подкос. Нижним основанием подкоса служила стена грунтового приямка глубиной 2,5 м, устроенная с односторонним уклоном (нормально к подкосу), с уложенной поверх грунта клеткой (из двух рядов шпал) размером 2,25×2,25 м. Между низом подкоса и клеткой установили гидравлический домкрат, которым 1000 кН-ная нагрузка на подкос поддерживалась непрерывно до установки под напряжением домкратов в теле минарета.

Вертикальная и горизонтальная составляющие сил от подкоса уменьшали фибровые напряжения в минарете со стороны крена в 1,5 раза больше, чем предстоящее увеличение напряжений после пробивки одного канала параллельно плоскости крена. Иначе говоря, этот подкос позволил без каких-либо опасений за сохранность минарета пробить первый канал шириной до 0,7 м, высотой 2,25 м и длиной 8 м (см. рис. 76).

Учитывая, что минарет и пилон сложены на ганчевом растворе, а стальные балки, заводимые в их тело, необходимо залить цементным бетоном, после пробивки канала, по рекомендации автора, стенки канала смазали сметанообразной известью. Этим самым предупредили влияние ганчевого раствора (в котором имеется сера) на портландцементный бетон и наряду с этим обеспечили хорошую связь кладки на ганчевом растворе с предстоящим заполнением цементным бетоном. На дно пробитого канала уложили парные, связанные между собой диафрагмами, прокатные двутавровые балки № 45 с расстоянием между центрами балок в 50 см. Со стороны крена концы этих нижних балок выступали за пределы минарета на 0,8 м и опирались на одну из ранее уложенных клеток. После заливки бетоном нижних балок завели в канал и обетонировали такую же вторую пару верхних балок и прижали их к верху одним домкратом, установленным со стороны крена (рис. 76), и деревянными стойками с противоположной стороны.

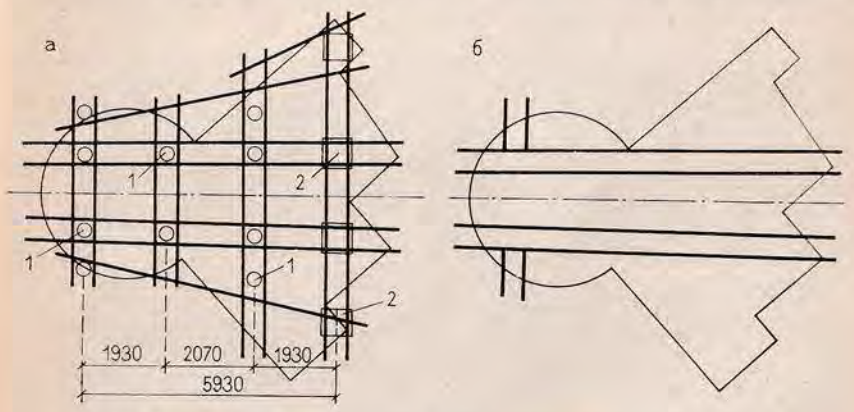


76. В канале между наддомкратной и поддомкратной балками установлен домкрат. Справа виден подкос

С помощью домкрата, установленного под давлением между верхними и нижними балками в канале, дополнительно разгрузили наиболее напряженную и ослабленную зону минарета еще на 1000—1100кН. Далее приступили к пробивке такого же второго (параллельно первому) долевого канала, располагаемого с другой стороны подкоса. После заводки во второй продольный канал таких же верхних и нижних парных балок и установки между ними со стороны крена домкрата под напряжением приступили к поочередной пробивке между балками четырех поперечных каналов. Задача поперечных балок заключалась в том, чтобы снизить напряжение в верхней более слабой кирпичной кладке.

Поперечные каналы имели ширину тоже 0,7 м, а высоту 1,37 м. В первый поперечный канал после заводки в него верхней парной поперечной балки установили четыре домкрата под напряжением.

Следующим этапом пробивали такой же второй поперечный канал. Во втором канале установили два домкрата. Далее пробили четвертый поперечный канал в том месте, где требовалась установка четырех шарнирных клеток (рис. 77). Эти клекти собрали из обрезков прокатных балок, а шарниры

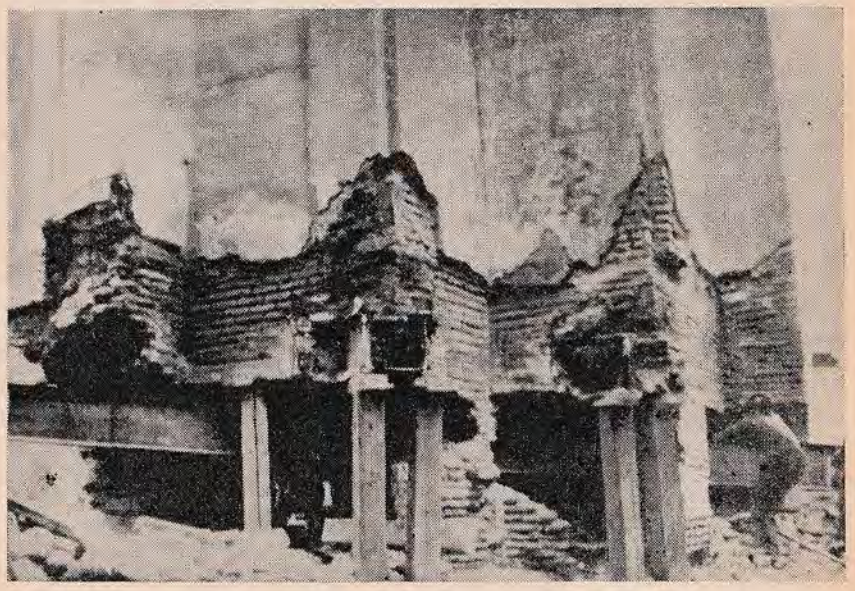


77. Расположение наддомкратных и поддомкратных балок
а — наддомкратные балки; *1* — домкраты; *2* — шарнирные клетки; *б* — поддомкратные балки

(из круглых стержней диаметром 100 мм и длиной 0,7 м) уложили горизонтально между балками клетки. Две средние клетки опирались на нижние балки продольных каналов, а под две другие (крайние) клетки сделали снизу поверх кирпичной кладки цоколя бетонную подготовку с размером в плане 0,8×0,8 м, толщиной до 40 см. Для плотного прижатия клеток с четвертой

поперечной балке между балочками клеток и этой поперечной балкой забили стальные клинья. Чтобы во время выпрямления круглые стальные болванки (шарниры) не поворачивались, а следовательно, и не передвигались, их приварили к нижним балочкам клетки.

Интересно отметить, что после заводки 1-й, 2-й и 4-й поперечных балок с придачей им домкратами нагрузки, превышающей расчетную не более чем на 8%, с внешней стороны в кирпичной кладке между продольными каналами появилась горизонтальная волосная трещина. Иначе говоря, после установки четырех домкратов под первой поперечиной и двух домкратов под второй (ранее установленные домкраты между выступавшими консолями балок продольных каналов к этому времени были убраны) произошел отрыв поднимаемой кладки от остающейся. Далее из-за образующихся перенапряжений в кладке, расположенной над поперечинами, пробили канал под третью поперечину, завели поперечные балки, установили четыре домкрата с давлением в соответствии с приходящейся на них расчетной нагрузкой. После установки всех домкратов и клеток спустили давление с домкрата под подкосом, убрали подкос и выломали под минаретом и пилоном оставшуюся после пробивки всех каналов кирпичную кладку между поддомкратными и наддомкратными балками (рис. 78). На рис. 79 дан вид со стороны крена перед выпрямлением.



78. Вся кладка на отметке среза убрана



79. Вид на домкраты, расположенные со стороны крена перед началом выпрямления минарета

Необходимая пропорциональность подъема полностью обеспечивалась самостоятельной системой водяной нивелировки (рис. 80). Предварительно был произведен точный геодезический замер всех заведенных поперечных балок в плане. По этому замеру расстояние между центром первой и четвертой поперечины составило 5930 мм. Следовательно, высота подъема над осью первой поперечины должна составлять

$$5930 \operatorname{tg} 3^\circ = 5930 \cdot 0{,}0524 = 310{,}7 \approx 311 \text{ мм}.$$

Соответственно над второй поперечиной

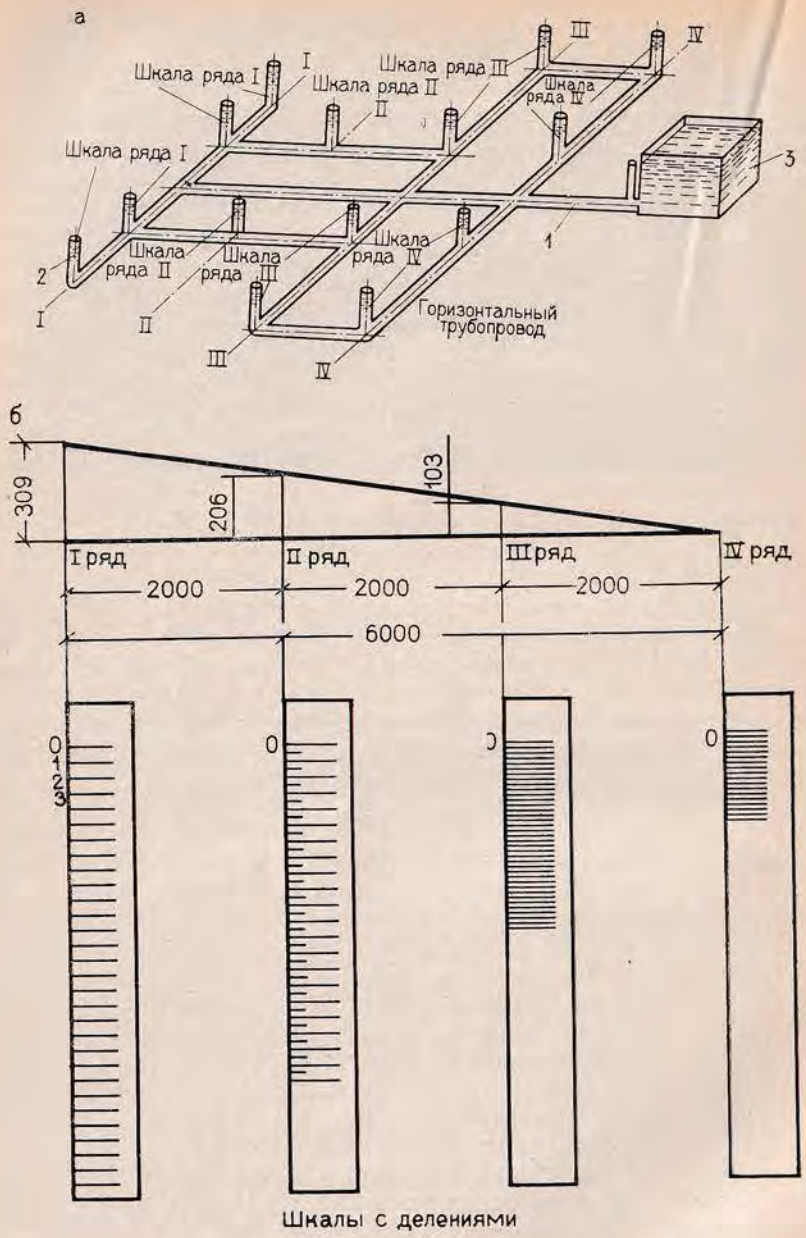
$$4000 \cdot 0{,}524 \approx 210 \text{ мм}$$

и над третьей поперечиной

$$1930 \cdot 0{,}0524 \approx 101 \text{ мм}.$$

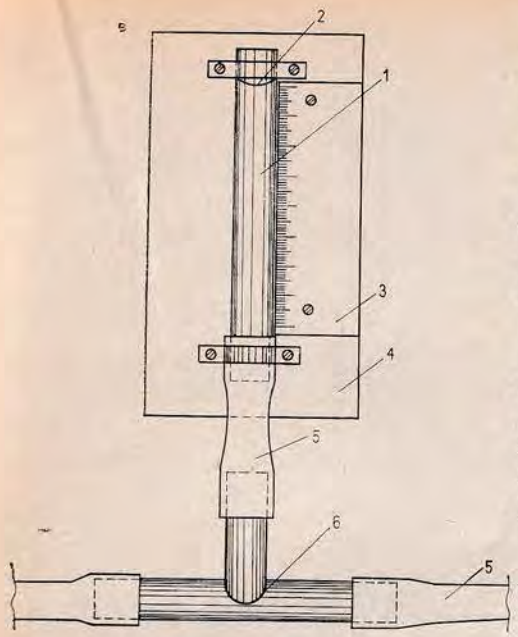
Ось четвертой поперечины остается на своей вертикальной отметке.

Число этапов подъема для всех домкратов было одинаковым и равным 101. Для домкратов под третьей поперечиной высота подъема одного этапа составляла 1 мм. На каждый этап подъема высота выхода поршня под этой третьей поперечиной должна была также составлять 1 мм. Для второй поперечины один этап подъема составил $210 : 101 \approx 2{,}08$ мм, а для первой поперечины — $311 : 101 \approx 3{,}08$ мм. В соответствии с этим над домкратами под третьей поперечиной, рядом со стеклянным отводом водяного нивелира, прикрепили шкалу с делениями через каждый миллиметр общей высотой 101 мм; то же, над домкратами под второй поперечиной — 101 деле-



80. Система водяной нивелировки

а — общий вид в аксонометрии; *1* — резиновые трубки; *2* — вертикальные отводы; *б* — шкалы с одинаковым количеством делений в I, II и III рядах; *в* — деталь вертикального отвода; *1* — стеклянная трубка — вертикальный отвод; *2* — мениск от залитой в системе воды; *3* — шкала с делениями; *4* — доска; *5* — резиновые трубки; *6* — стеклянный тройник

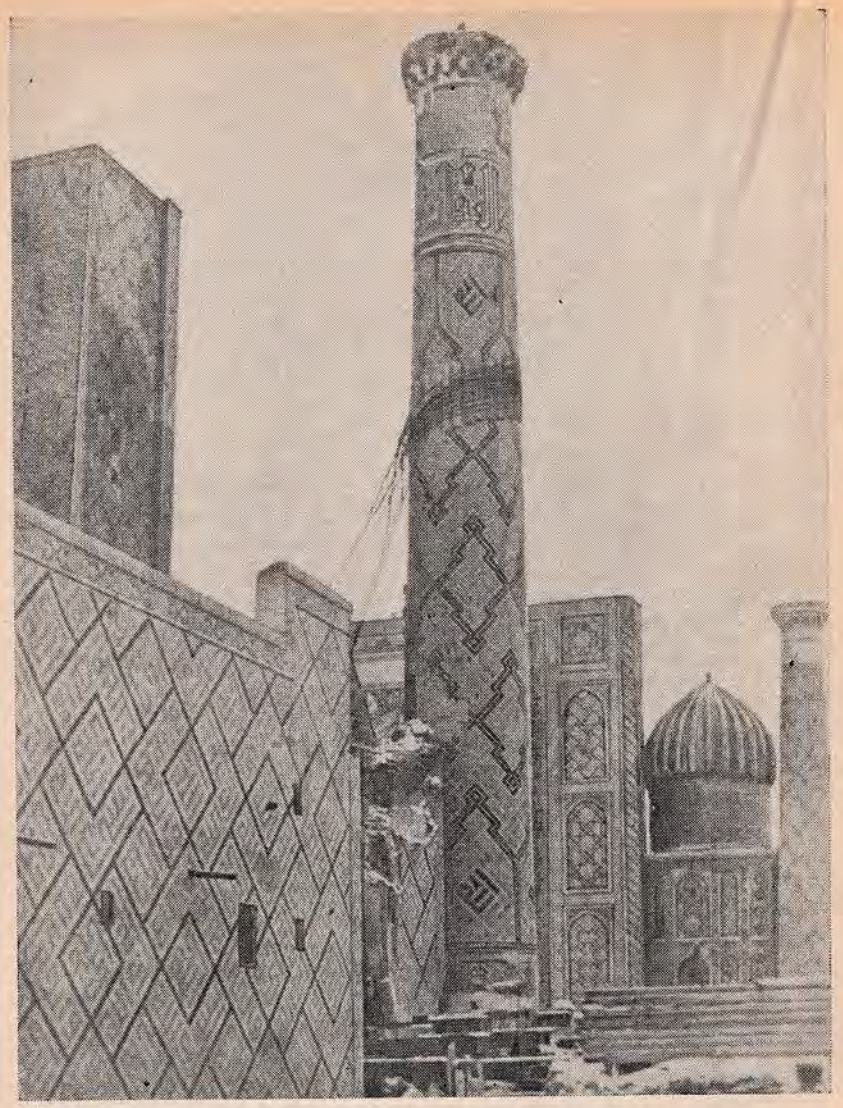


ние с высотой каждого деления в 2,08 м; то же, над домкратами под первой поперечиной — 101 деление с высотой каждого деления в 3,08 мм. Во всех этих шкалах ноль деления размещался вверху, так как при подъеме вода в отводных трубках опускается. Эти шкалы прикрепляли на месте после заливки водой всей системы водяной нивелировки, так как в этом случае проще обеспечить совпадение нуля шкалы с уровнем воды в стеклянном отводе.

Кроме системы водяной нивелировки велись еще и геодезические наблюдения за подъемом под руководством опытного инженера Д. А. Дреннова. Для этой цели установили два теодолита. Один теодолит располагался в створе плоскости крена на расстоянии примерно 50 м; второй примерно на таком же расстоянии от минарета, но нормально к плоскости крена и по оси минарета.

Во время выпрямления по первому теодолиту наблюдали за отклонением минарета в поперечном направлении: вправо, влево. Причем эти отклонения не превышали 1 см. Следовательно, при принятых размерах этапов подъема точность работы домкратов в поперечном направлении составила примерно 1,2 мм. Второй теодолит показывал выпрямление крена за каждый этап подъема. Наблюдения велись по маркам, нанесенным вверху и внизу как по линии крена, так и на плоскости, нормальной к ней по оси минарета. Подъем был прекращен, когда вертикальная визирная ось первого теодолита совпала с плоскостью симметрии минарета и вертикальная визирная ось второго теодолита совпала с центрами нижней и верхней марок. Вскоре после начала подъема односторонние расчалки, поддерживавшие минарет от падения, ослабли. Никаких новых расчалок, как было сказано, для удержания минарета от случайного падения в стороны не устанавливали.

Весь подъем продолжался менее двух смен. После окончания выпрямления (рис. 81) приступили к заполнению бетоном образовавшегося разрыва. Чтобы при перекреплении ми-



81. Минарет после выпрямления

нарета и пилона с домкратов на кирпичное основание не произошла осадка, уборку каждого домкрата производили с помощью дополнительного установленного рядом домкрата. Дополнительным домкратом разгружали рабочий домкрат и на его место устанавливали клетку из рельсов, которую тугой забивкой стальных клиньев прижимали к верхней плоскости

поднятого минарета, до начала падения давления в дополнительном домкрате.

Далее рельсы клеток в местах их взаимного пересечения и примыкания к верхним поперечинам и нижним продольным балкам приваривали между собой. Таким образом, продольные и поперечные балки, которые были заведены в тело минарета и пилона, после выпрямления не только оставались на месте, но и скреплялись между собой. Поочередно убрали все домкраты, а заменившие их клетки и расположенные над ними поперечные балки забетонировали, заполнив разрыв в кирпичной кладке минарета и пилона и создав хорошее прочное основание, которое будет служить и надежным антисейсмическим поясом.

Проектирование и производство работ по выпрямлению юго-восточного минарета медресе Улугбека в Самарканде потребовало три месяца подготовительных работ, два дня на выпрямление и 12 дней на уборку домкратов из-под минарета с одновременным заполнением цементным бетоном образовавшихся разрывов.

Выпрямление северо-западного минарета мечети Биби-ханым

В 1972 г. по проекту и под руководством автора был выпрямлен северо-западный минарет мечети Биби-ханым в Самарканде [11]. Этот сторожевой минарет ранее был значительно выше. Его диаметр у уровня земли вместе с гранитной облицовкой (без контрфорса) составляет 3,76 м, а вверху (высота 18,22 м) вместе с керамической сеткой — 3,24 м. Облицовка сложена из блоков гранита толщиной от 30 до 41 см; она охватывает минарет с центральным углом примерно в 220° — от внешней грани примыкающей южной галереи до внешней грани восточной стены галереи. Высота облицовки от поверхности земли 2,76 м, масса минарета до поверхности земли 3100 кН.

На увеличение крена данного минарета повлияло то обстоятельство, что фибровые напряжения со стороны крена были большими из-за перераспределения нагрузки на примыкающие к противоположной крену стороне высокие стены галереи, которые были перевязаны с кладкой минарета. Кроме того, оказало влияние и увлажнение грунта от арыка, расположенного со стороны крена на расстоянии 7 м.

Ко времени выпрямления угол наклона минарета составил в среднем 4°36′. Исследования грунтов (у самого арыка, между арыком и фундаментом минарета и за пределами фундамента со стороны, противоположной крену) показали, что на глубине 6 м от подошвы фундамента влажность лессового суглинка со стороны крена составила 26,3%, консистенции 0,7, а с противоположной крену стороны при расстоянии между скважинами в 9 м влажность составила 13,4%, консистенции меньше 0.

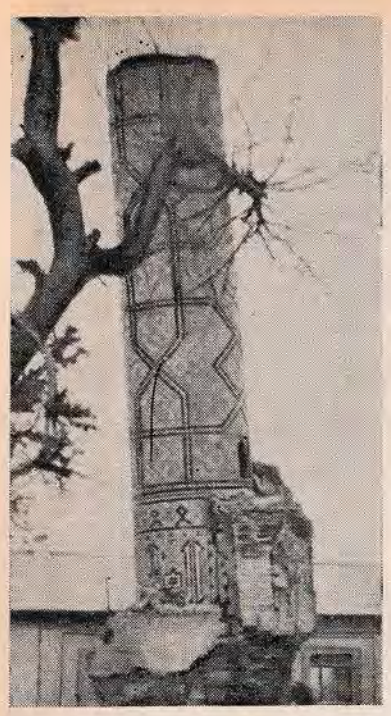
Фундамент минарета имеет три обреза. Нивелировка обрезов показала, что в среднем фундамент со стороны крена осел на 0,105 м больше, чем с противоположной стороны. Общая же неравномерная осадка минарета составила 3,76tg 4°36′=0,3 м. Неравномерная осадка вследствие большей деформации кладки и ее разрушения под влиянием атмосферных воздействий и значительных напряжений составила 0,3—0,105=0,195 м. Крен минарета по высоте был неодинаковым: на верхнем участке он доходил до 5°05′, а над цоколем до 4°22′. Образование изломов следует отнести за счет большей прочности гранитной облицовки по сравнению с кирпичной кладкой минарета.

С южной и восточной сторон к минарету под центральным углом в 90° примыкают кирпичные стены галереи (толщиной 1,8 м и высотой 8 м), перевязанные с кладкой минарета (рис. 82). Следовательно, и в этом минарете часть нагрузки от его массы перераспределяется, передаваясь на основание под стенами галереи. Со стороны же крена вся нагрузка от минарета приходится в основном только на гранитную облицовку. Вследствие односторонних пристроек стен к минарету напряжения со стороны крена превышали напряжения с противоположной стороны до 2,25 раза. Эти примыкающие стены в первое время после постройки минарета послужили причиной неравномерного распределения напряжения и образования разных по размерам вертикальных деформаций, которые вместе с осадкой от одностороннего увлажнения и влияния атмосферных воздействий привели к прогрессирующему крену.

Через какое-то время после постройки минарета с той же северо-западной стороны для противодействия дальнейшему наклону, впритык к облицовке и до ее верха, на половине длины окружности минарета устроили кирпичный контрфорс (рис. 83).

Направление плоскости крена минарета определялось путем постепенного выбора станции (точки установки теодолита, см. гл. III), с которой углы между образующими конуса и крайними вертикалями составили 0°35′ и 0°34′, что можно считать достаточно точным. Понизу отсчеты имели 0°0′ и 11°30′, среднее положение составляла их полусумма — 5°45′; то же по верху минарета соответственно 0°35′ и 10°36′ с полусуммой отсчетов 5°45′. Таким образом, отсчет в 5°45′ по по лимбе теодолита соответствует направлению плоскости крена (рис. 84).

После определения угла на местности было создано геодезическое обоснование из опорных точек *А, Б, В, ..., 1, 2, ..., 18* (рис. 85); координаты всех приведенных точек определялись по замерам на месте исходя из схемы на рис. 86. Точки *А—Г, 1—18* закрепили направление линий плоскости крена минарета.



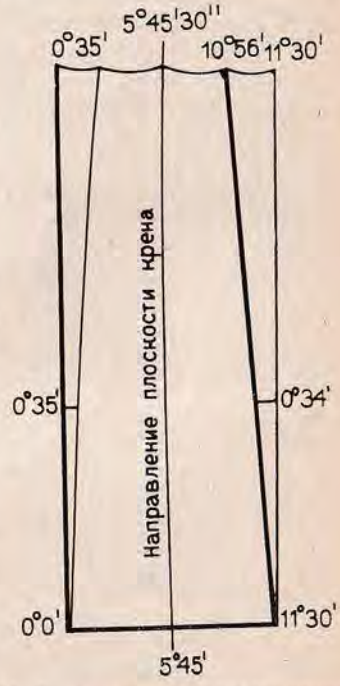


83. Нижняя часть северо-западного углового минарета мечети Биби-ханым. Слева виден контрфорс

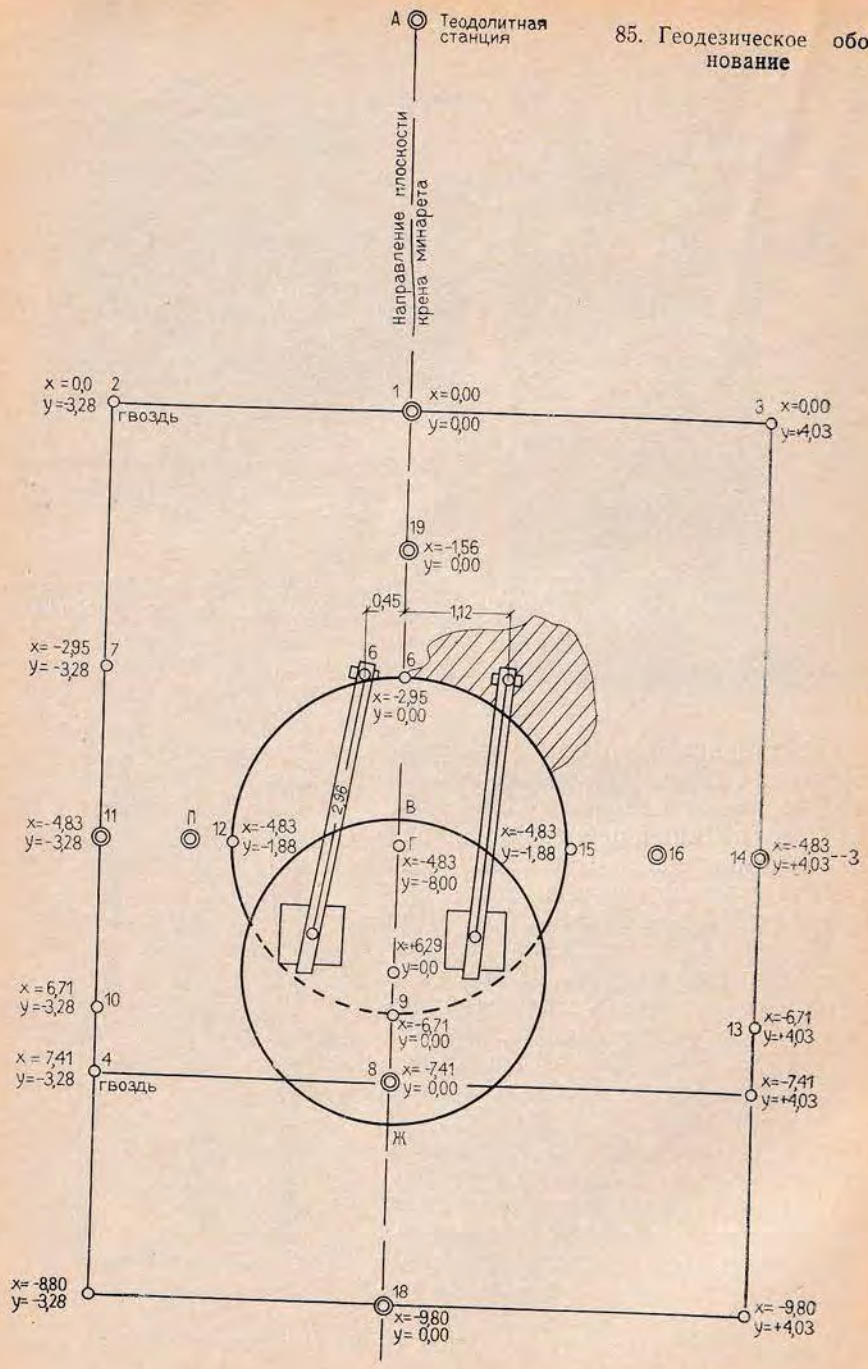
◀ 82. Северо-западный угловой минарет мечети Биби-ханым до выпрямления

Расстояние от точки установки теодолита *А* до минарета составило 15,5 м, а от центра 15,5+1,88= =17,38 м. Линия, перпендикулярная плоскости крена от станции *3* до центра низа минарета, имела длину, равную: 31,18+1,88=33,06 м. Для определения оси минарета поверху с теодолитной станции *3* измеряли угол между двумя противоположными гранями верха минарета: точки *Ж*=0°00′, точки *В*=5°37′, и из него получали направление на центр минарета, равное: 5°37′ : 2=2°48,5′.

Угол между дальним креном минарета поверху до линии, перпендикулярной плоскости крена —центра минарета понизу, составил 5°21′. Если вычесть из угла 5°21′ угол 2°48,5′, то получим угол между нижним и верхним центрами: 5°21′— 2°48,5′=2°32,5′, откуда Δ=33,06 tg



84. Определение плоскости крена



85. Геодезическое обоснование



86. Линии, перпендикулярные плоскости крена

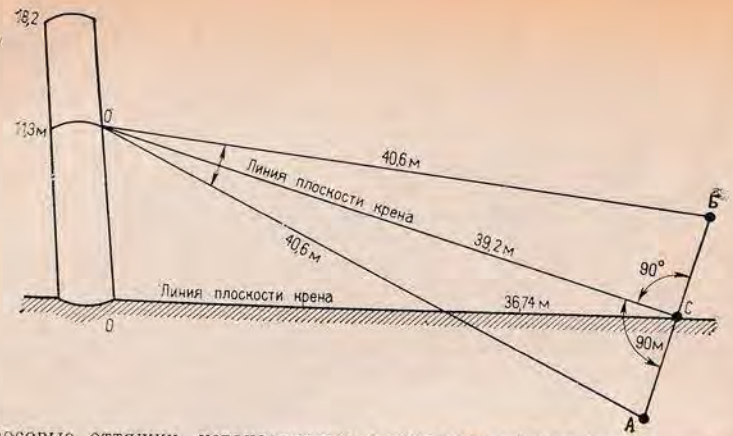
$2°32,5' = 1,46$ м. Диаметр верхнего кольца $33,06 \sin 5°37' = 3,24$ м, а радиус $3,24 : 2 = 1,62$ м. Средний угол крена определен из отношения

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1,46}{18,22}, \quad \text{где } \alpha = 4°36'.$$

В начале 1971 г. было установлено, что минарет продолжает наклоняться. Поэтому в первую очередь потребовалось остановить прогрессирование крена, для чего установили две парные тросовые оттяжки и каждому тросу придали предварительное напряжение в 2 т, которое измерялось тензометрами (рис. 87).

Приложенные для предварительного натяжения оттяжек усилия обеспечивали выравнивание напряжений на фибровых участках как со стороны крена, так и с противоположной стороны. Таким образом, отпала необходимость в контрфорсе, который вслед за установкой оттяжек был разобран. Во время его разборки было установлено, что кирпичный контрфорс на большей части его высоты не примыкал к цоколю минарета, а следовательно, не только не выполнял своей задачи удерживать наклон минарета, а, наоборот, дополнительной нагрузкой увеличивал напряжения в основании.

Перпендикулярно плоскости крена как с юго-западной, так с северо-восточной стороны в гранитной облицовке были об-



87. Тросовые оттяжки, установленные с предварительным напряжением. Оттяжки показаны в плане

наружены большие вертикальные трещины до 3 см, отсутствовавшие за ее пределами (в кирпичной кладке). Это показывает, что основную нагрузку от минарета, приходящуюся со стороны крена, принимала на себя облицовка. Здесь, конечно, сказалась разница в 30 раз между величинами модулей деформации облицовки и кирпичной кладки. Поэтому понятно, почему основная нагрузка от минарета со стороны крена на половину длины его окружности стала восприниматься только гранитной облицовкой. По мере роста крена в ту же сторону, начиная с верхних рядов блоков облицовки, происходило и их горизонтальное смещение с отделением от кирпичной кладки. Это было выявлено при очередном зондаже перед пробивкой каналов для заводки в них стальных балок, необходимых для выпрямления минарета. Наибольшее смещение верха облицовки от кирпичной кладки по горизонтали составило 16 см, и образовавшаяся пустота между облицовкой и кирпичной кладкой минарета имела форму сегмента, сходящегося книзу на нет.

Для выпрямления минарета проектом, согласно расчетному сопротивлению кирпичной кладки и нагрузок, предусматривалась пробивка по высоте цоколя только двух продольных сквозных каналов, в которых со стороны крена должны быть установлены по одному 2000 кН-тонному гидравлическому домкрату (рис. 88, *а*), а с противоположной стороны — по одной шарнирной клетке (рис. 88, *б*). Высота каналов должна была позволить завести под и над домкратом два скрепленных между собой диафрагмами двутавра № 45 для распределения сосредоточенной нагрузки от него в кирпичной кладке. Это обусловило высоту пробиваемых каналов в 1,75 м. Ширина каналов определялась минимально возможными размерами для производства работ по пробивке и составила 60 см.

Каналы в теле минарета располагались так, чтобы на каждый из них приходилось примерно по одинаковой нагрузке. Со стороны крена оси каналов, а следовательно, и домкраты требовалось расположить симметрично по отношению к плоскости крена. С противоположной стороны, где устанавливаются шарнирные клетки, оси каналов из-за одностороннего расположения примыкающих стен смещались, а шарнирные клетки приходились по линии центра тяжести нагрузок.

Работами предусматривалась поочередная пробивка каналов: второй канал пробивался только после полного окончания заводки балок с установкой с одной стороны его домкрата под полной нагрузкой, а с другой — шарнирной клетки.

Для пробивки одного канала потребовалось уменьшить площадь несущей облицовки на 30%, считая, как было сказано выше, что облицовка несет всю основную нагрузку, приходящуюся со стороны крена.

Прежде чем пробить такой канал, было необходимо разгрузить на 30% фибровые напряжения на данном участке. Для этого под углом 38° к горизонтали установили стальной подкос пространственной конструкции, под которым был помещен гидравлический домкрат. Верх подкоса, представлявший собой металлическую подушку, распределяющую нагрузку, упирался в верхний облицовочный блок. Для противодействия скольжению этой подушки вдоль минарета при нагрузке на подкос выше облицовки в кирпичную кладку заделали упоры — горизонтально уложенные обрезки толстой арматуры (см. рис. 88, *а*). Подкосу было дано предварительное напряжения в 500 кН, что позволило снизить фибровые напряжения в облицовке настолько, насколько они увеличиваются после пробивки одного канала. Между верхними и нижними балками со стороны крена установили домкрат и с другой стороны — шарнирную клетку. После придачи домкрату нагрузки в 1200 кН в горизонтальном шве облицовки между первыми и предстоящим к пробивке вторым каналами, образовалась волосная трещина, сигнализирующая о том, что облицовка освободилась от большей части нагрузки и можно без опасений за устойчивость минарета пробивать второй канал. Таким же способом установили балки и во втором канале.

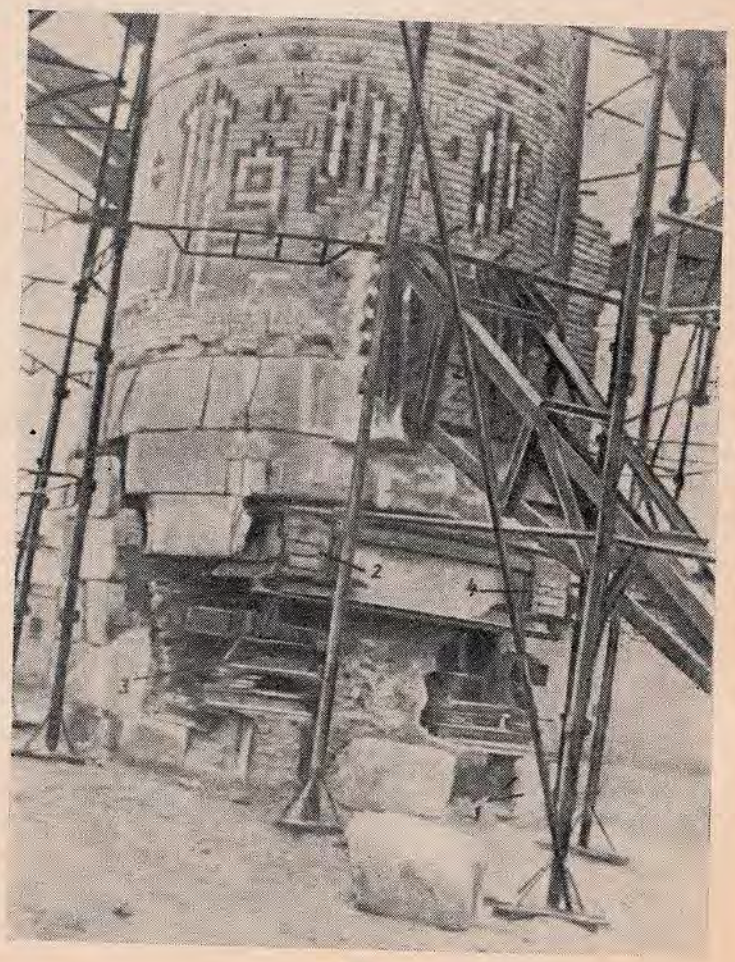
Для предупреждения дальнейшего наклона минарета под влиянием одностороннего увлажнения грунта от проходящего с западной стороны арыка по длине участка, на котором арык приближается к минарету на расстояние менее 10 м, он должен быть заключен в трубу.

По окончании выпрямления домкраты были убраны, а заведенные двутавровые балки и шарнирные клетки оставили

на месте и забетонировали (рис. 89). Выпрямление минарета вела бригада Карыма Облакулова, состоящая из пяти человек. Подготовка заняла 2 мес, а само выпрямление 3 ч.

Выпрямление минарета велось в соответствии с общим планом работ по проекту инженерной консервации Соборной мечети Биби-ханым.

При выпрямлении этого минарета, как следует из приведенного описания, наддомкратные балки состояли из одного ряда продольных балок, тогда как при выпрямлении юго-восточного минарета медресе Улугбека они состояли из двух рядов перекрестно уложенных балок: продольных и поперечных. Это объясняется тем, что для данного минарета, имеющего в 3 раза меньшую по сравнению с минаретом медресе Улугбека массу, напряжения в кирпичной кладке над продольными балками составляли 1,3 от расчетного сопротивления. (Такое повышенное напряжение для конструкций, используемых временно — на период выпрямления, следует считать вполне приемлемым.)

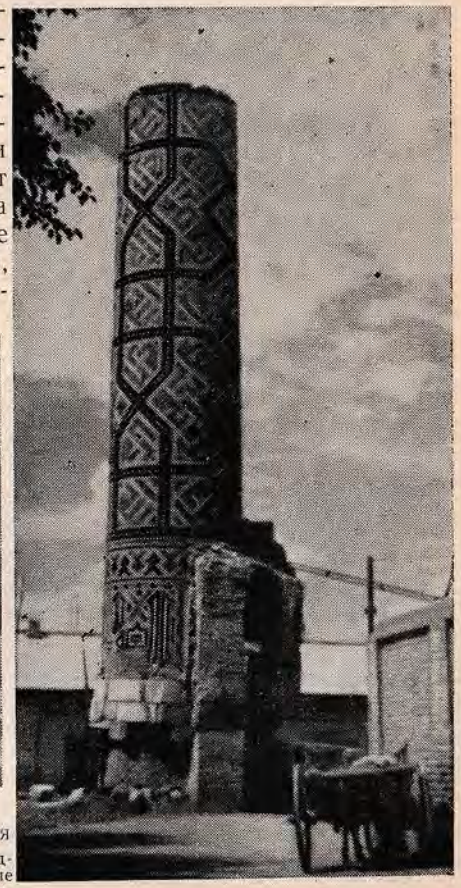


Инженерная консервация Соборной мечети Биби-ханым в Самарканде

В конце Ташкентской улицы Самарканда высятся гигантские руины выдающегося творения зодчества — Соборной мечети Биби-ханым. Она строилась с 1399 по 1404 г. Тимуром в столице его державы после возвращения из победоносного похода в Индию. Постройка величественной мечети с использованием всех архитектурно-строительных достижений своей эпохи олицетворял несокрушимую мощь Тимура. Сохранившиеся руины этой мечети и в настоящее время поражают своей грандиозностью. Она превосходила размерами не только мечети Средней Азии, но и всего мусульманского ми-



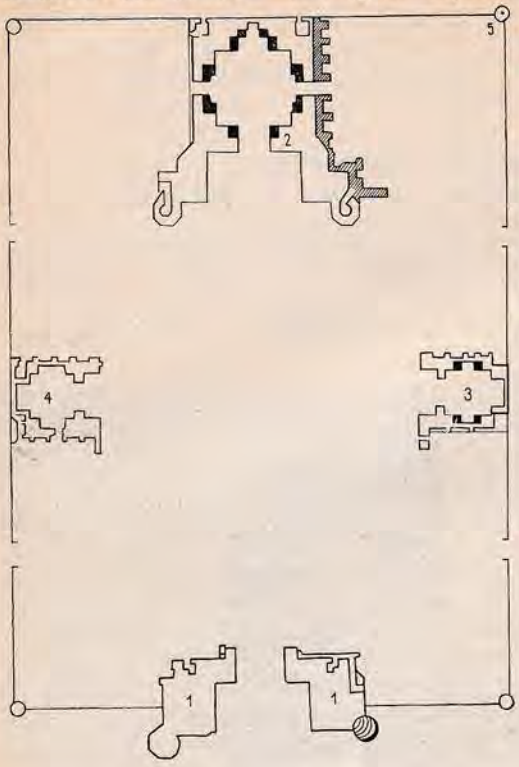
88. Минарет во время выпрямления слева (с. 168) — со стороны крена; *1*—поддомкратные балки; *2* — наддомкратные балки; 3 — домкраты; *4*— поперечина между наддомкратными балками; справа — минарет со стороны, противоположной крену



89. Минарет после выпрямления

ра. Под сводами мечети Биби-ханым и в ее дворе могло поместиться до 10 тыс. чел. (рис. 90). Эта мечеть как памятник мирового значения находится под охраной советского государства и международной организации ЮНЕСКО.

Мечеть Биби-ханым строилась лучшими мастерами Среднего и Ближнего Востока. На этом строительстве, по-видимому, имело место твердое разграничение отдельных артелей по специальностям: закладка фундаментов и кладка стен; возведение арок и куполов; ху-



90. План сохранившихся сооружений мечети Биби-ханым

1 — пилоны Главного входного портала; *2* — Большая мечеть; *3* — Северная малая мечеть; *4* — Южная малая мечеть; *5* — северо-западный минарет

91. Общий вид на руины мечети Биби-ханым



дожественно-отделочные работы. Общность многих композиционных принципов зданий, построенных Тимуром, заставляет полагать, что они принадлежат одному зодчему. Мечети Биби-ханым принадлежит первое место среди сохранившихся до наших дней архитектурных памятников тимуровского времени [5, 6, 17, 18, 25, 34].

В настоящее время Соборная мечеть представляет собой пять разрозненных сооружений: Главный входной портал, Большая (главная) мечеть, Северная малая мечеть, Южная малая мечеть и один (северо-западный) сторожевой минарет (рис. 91). Эти сооружения, разрушившиеся сторожевые минареты и соединявшая их между собой галерея некогда объединялись в единое композиционное целое на территории, имевшей в плане прямоугольник размером 99,1×128,7 м, вытянутый в направлении СВВ и ЮЗЗ и ориентированный на Каабу в Мекке. Несмотря на значимость памятника, иконографический материал по нему очень скуден.

В 1964 г., выпрямляя юго-западный минарет медресе Улугбека, автор не согласился с заключениями ташкентских специалистов о невозможности консервации сохранившихся частей сооружений Соборной мечети Биби-ханым. После положительного письменного заключения было вынесено решение о составлении соответствующего проекта, разработка которого была поручена автору [12].

Работы начались с изучения памятника по литературным источникам, геологических исследований подстилающих грунтов и подробного описания с замерами каждого сохранившегося сооружения. Геодезисты под руководством инж. В. А. Моргена составили генеральный план с многочисленными вертикальными отметками и вычертили через каждые 5 м по высоте контурные планы всех сооружений, произвели фототеодолитную съемку всех фасадов и отдельных участков сооружений. На 42 фотографиях размером 24×30 см нанесли тушью вертикальные отметки: поверхности земли и верхних участков сооружений, начала и конца трещин; верхних и нижних отметок всех проемов; границ участков, на которых сохранилась облицовка; профилей уступов в стенах и всех местных повреждений (см. рис. 22). Кроме общего геодезического плана в масштабе 1 : 500, в масштабе 1 : 200 были составлены планы каждого из сооружений. По малой северной мечети опытным геодезистом В. С. Уткиным был составлен еще детальный план в масштабе 1:50. Последнее вызывалось тем, что только это сооружение было основано на насыпных грунтах слоем более 2 м и поэтому получило большие неравномерные осадки. План этой мечети потребовался для составления проекта подводки фундаментов до естественных напластований.

Шурфование для определения глубины заложения фундаментов и подстилающих грунтов велось под руководством



92. Северная малая мечеть со стороны базара

П. С. Ташходжаева. Наибольшее число шурфов было сделано у стен Северной малой мечети для установления отметок естественных напластований под подошвой фундамента. В дополнение были сделаны зарисовки всех внешних плоскостей сооружений.

По-видимому, в древности, после первого же землетрясения, превышавшего 6 баллов, полностью обрушились много-

колонные купольные галереи. Таким образом, вскоре после постройки была потеряна целостность композиции памятника.

Зондирование кладок фундаментов и стен позволило установить, что при их сооружении не использовались какие-либо антисейсмические прокладки. В связи с этим большие повреждения, наряду с галереями, должны были получить и более высокие не симметричные по конфигурации сооружения. Из меньших по высоте зданий сейсмические воздействия должны были больше повлиять на Северную малую мечеть, поскольку только она основана на насыпных грунтах разной мощности. Это объясняется увеличением при землетрясении амплитуды колебаний в более слабых грунтах. Таким образом, Северная малая мечеть наряду с деформациями от неравномерных осадок еще получила и большие повреждения от землетрясений (рис. 92).

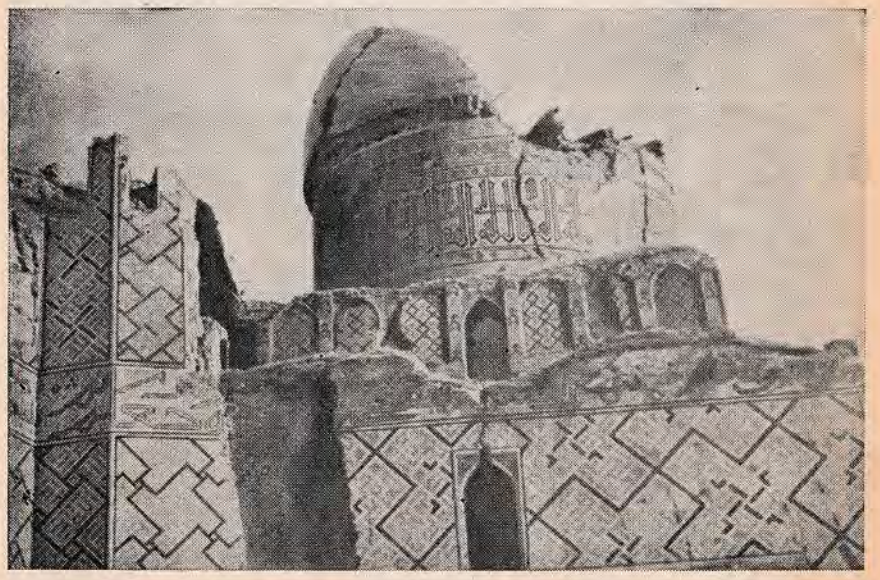
От грандиозного и значительного по отделке Главного входного портала, ведущего на большую территорию Соборной мечети, сохранились только два разобщенных огромных, лишенных завершения устоев портальной арки — кирпичных пилонов. В верху пилонов сохранились остатки кладки некогда располагавшихся на них крытых галерей. От соединявшей оба пилона арки сохранились только пяты. Один из этих пилонов располагается с южной стороны, другой — с северной. К южному пилону примыкает частично сохранившийся минарет (рис. 93). От минарета, примыкавшего к северному пилону, остался только нижний ряд гранитной облицовки цоколя. Южный пилон вместе с минаретом получил крен в 3°47′30″ в южном направлении, по-видимому, под действием сил распора от арки. За последние 10 лет крен не увеличился. Имеются предположения, что образованию крена содействовал подкоп, произведенный с целью разрушения портала по приказу Тимура, недовольного его высотой.

Чтобы представить себе грандиозность сохранившихся массивов, приводим некоторые основные размеры его элементов. Ниша входного портала имела пролет 18,8 м при глубине 9,65 м. Частично сохранившийся южный минарет имеет в настоящее время высоту 34 м, а примыкающий к нему пилон 27,7 м. Наибольшая высота северного устоя примерно 28 м. Оба устоя, одинаковые в плане, сделаны в форме буквы «Г», приставленной одна к другой перевернутыми вниз глаголами. Длина каждого пилона по большей стороне глагола 12 м, по ширине 10 м. Объем входного портала 39 400 м³. Полихромный декор сохранился только частично: в верхней части южного устоя, на боковых стенах с южной и северной сторон и на юго-западной стороне минарета.

Сравнительно небольшие участки толстого (до 60 см) облицовочного слоя южного минарета частично опустились из-за



93. Слева виден минарет Большой мечети



94. Южная стена Большой мечети. Посредине виден барабан с отколотым участком

того, что подгнили выпущенные из основной массивной кладки деревянные пальцы, поддерживавшие приложенную облицовку.

В сохранившихся пилонах имеется много трещин. Вертикальные трещины в основном указывают на отделение толстого облицовочного слоя от основной кладки. В облицовочном слое имеются и наклонные трещины. Все лестницы внутри пилонов получили большие разрушения: выломаны арки входных проемов, отсутствует много ступеней. От лестниц, располагавшихся с внешних сторон пилонов, сохранились только следы. Фундаменты основаны на естественных грунтах и залегают на глубине от 1 до 2,5 м.

Большая (Главная) мечеть — центральное и самое красивое из всех сооружений Соборной мечети; оно расположено на одной продольной оси с главным входным порталом.

Сохранившийся основной массив здания Большой мечети и до сего времени поражает своей грандиозностью. Гигантский портал гармонично сочетается с сужающимися кверху частично сохранившимися двумя шестигранными минаретами (рис. 94). Тимпанная часть портала почти полностью обрушилась. Высота портала от поверхности земли до верха замка свода составляет 33,15 м; пролет портальной арки — 18 м, высота портальной ниши от поверхности земли 29,7 м, а ее глубина 9,95 м. Объем мечети 79 200 м³. Землетрясением 1948 г. сброшена часть наружного купола и угрожающе нависла облицовка на софите портальной арки.

Располагаемая за порталом мечеть имеет в основании призму, в плане близкую к квадрату со сторонами около 24 м при высоте в наиболее сохранившейся части 16,6 м.

На этой первой призме с толщиной северной стены 4 м, восточной 5 м, южной 4,5 м и западной 6,5 м располагается вторая меньшая квадратная призма с размерами сторон в плане 18,4 м при высоте в уцелевшей части 5,56 м и толщиной стен в пределах 2 м.

Над второй призмой возвышается круглый барабан с внешним диаметром 18 м при высоте 8,4 м. Он не замкнут. В его юго-восточном углу на высоту 5 м почти вся кладка вывалилась (рис. 94). Над барабаном располагаются остатки разрушенного наружного купола: сохранилась небольшая его часть в северо-восточном углу высотой 6 м; его наивысшая точка имеет отметку 36,4 м от поверхности земли.

В описании мечети в истории Тимура «Книга побед» Шереф-эд-дина сказано, что «ее купол был бы единственным, если бы небо не было его повторением; единственной была бы арка, когда бы млечный путь не оказался ей парой». Из внутреннего купола диаметром 14,6 м вывалилось в средней части больше половины его диаметра. Глубина заложения фундаментов под стенами 1,7—2,5 м, а под минаретами до 5 м.

Фундаменты под минаретами сужаются книзу в виде усеченной пирамиды.

В стенах мечети имеется много больших слабонаклонных трещин, главным образом в местах, где они ослаблены проемами.

Надо полагать, что от первых же землетрясений в Большой мечети произошло отделение самого четверика от выступающй за его пределы в два раза большей по длине прямоугольной в плане портальной части с образованием между ними больших сквозных трещин. Такому разделению Большой мечети на два самостоятельных сооружения способствовала наряду с отсутствием симметрии и большая разница в жесткостях этих частей сооружения, несмотря на то, что их кладка была перевязана между собой.

Дополнительно приложенная к северной стене кладка, по-видимому, была вынужденным мероприятием из-за неточности при разбивке плана в натуре. Эта прикладка была осуществлена позже, поскольку на внешних плоскостях основной стены после частичной ее отбивки была обнаружена облицовка из поливной керамики.

Согласно произведенным расчетам, установлено, что четыре арки, поддерживающие купол, имели достаточную прочность для восприятия приходящихся на них нагрузок. Постройка же внутренних вторых арок в интерьерах мечети, по-видимому, потребовалась после образования повреждений во время землетрясения, случившегося еще до полного окончания постройки. Это подтверждается и тем, что между существующими и частично заложенными проемами, включая и фундаменты, имеются просветы, т. е. закладки работают самостоятельно. Только во время землетрясений эти закладки могут в какой-то мере уменьшать амплитуды колебаний и тем самым сдерживать основные арки от повреждений.

Судя по наклону трещин на южной стене и смещения по вертикали обрамления окна, западная половина южной стены дала большую осадку. Внутренняя живопись в мечети сохранилась на отдельных сравнительно больших плоскостях.

Северная и Южная малые мечети расположены одна против другой на средней поперечной оси двора. Эти прямоугольные мечети почти равны по размерам: они в меньшем масштабе повторяют форму Большой (главной) мечети (их размер в плане 15,2×17,6 м при сохранившейся высоте 20 м), но не имели минаретов. Толщина стен нижнего четверика около 3 м, объем каждой мечети 5400 м³. У обеих мечетей утрачены наружные купола и частично барабаны. Фасадные стены имеют узорчатую кладку из двух ложковых шлифованных кирпичей, уложенных один на другой, чередующихся с одним поливным или фигурным кирпичом, поставленным на ребро (парная кладка).

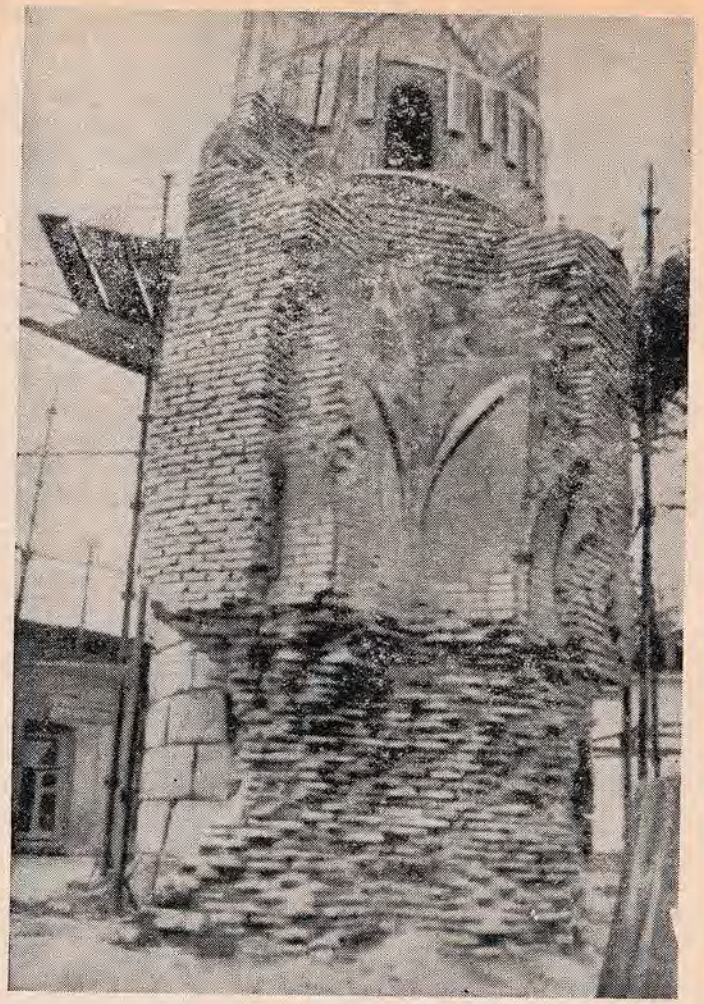
Северная мечеть основана на откосе засыпанного оврага и под подошвой фундамента залегает культурный слой толщиной 1,3—2,2 м. По этой причине в ней дополнительно возведены вторые арки, которые, по-видимому, как и в Большой мечети, пришлось построить после первого землетрясения.

Северная стена нижнего четверика Северной мечети оторвалась от арок, осела, наклонилась в северном направлении и больше чем наполовину обвалилась (см. рис. 92). Значительно больше арок осела и южная стена этой мечети. Все стены Северной мечети в сквозных трещинах, и невооруженным глазом видно, что мечеть перекосилась. С внутренних сторон Северной мечети и с одной западной стороны Южной мечети следов сообщения с галереей не обнаружено. Следовательно, на этих участках стены перекладывались.

В значительно лучшем состоянии Южная малая мечеть. Однако эта мечеть утратила тимпанную часть и примыкающую к ней арку (рис. 95). Глубина заложения фундаментов малых мечетей от 0,2 до 1,5 м от поверхности земли начала XV в. За 670 лет поверхность земли у Северной мечети повысилась на 1,2 м.



95. Южная малая мечеть до реставрации. Вид на входной портал (рисунок)



96. Вид на примыкавшие к минарету стены с пятой от купольной аркады

От колонной галереи только в одном месте, где внешняя стена галереи примыкала к сохранившемуся угловому минарету, сохранился отрезок стены длиной 0,8 м (рис. 96). Следы от арок галереи сохранились и на стенах Главного входного портала и мечетей (рис. 97). Кроме того, сохранились часть ее внутренней северной стены в примыкании к Северной малой мечети, фрагменты фундаментов внешних и внутренних стен, базы многих известняковых колонн, и на отдельных участках полы из больших известняковых плит. Галерея имела с внешних сторон глухие стены высотой до 8 м, а со сто-



97. Западная стена Южной малой мечети. Видна аркатура галереи в месте ее примыкания к мечети

роны двора — открытую одноярусную стрельчатую аркаду. Входы в галерею были не только со стороны Главного портала, как показано у Ш. Е. Ратия [34], но, как было обнаружено позднее, еще в двух местах с каждой продольной (южной и северной) стороны (см. рис. 90).

При раскопках было установлено, что плиты пола укладывались на ганчевом растворе, после утрамбовки насыпного грунта. В отдельных местах обнаружены куски мраморных колонн. Раскопаны и фундаменты стен галереи. Площадь галереи 6200 м^2.

На всех сооружениях Соборной мечети применялся жженый кирпич размерами 26×26×(5 или 6) см и 29×29× (5 или 6) см. В ограниченном количестве использован кирпич размерами 15×30×5 см и 20×40×6 см из разобранных более ранних построек.

Основная кладка всех конструктивных элементов, в том

числе и гипертрофированных, возводилась раздельно от декоративного слоя, имеющего толщину 40—60 см. Декор держится главным образом на выпущенных из стен деревянных пальцах (возможно, остатках от ранее применявшихся подмостей) и частично сцеплением раствора по плоскостям соприкасания.

Большая толщина декора, видимо, вызывалась еще и тем, что она выравнивала не по отвесу сложенные плоскости стен. Декор состоит из плохо или совсем не перевязанной кирпичной кладки: кирпичи прикладывались к стене плашмя на ганчевом растворе (обожженная и размолотая смесь гипса с лессовидным суглинком) в несколько слоев, а к кирпичам на алебастровом растворе приставлялась цветная поливная керамика, мозаика, майолика.

Несмотря на руинированное состояние Соборной мечети, сохранившиеся части сооружения оставляют неизгладимое впечатление величием форм, роскошью декоративного убранства, чистотой и яркостью колорита поливной керамики. По мнению автора, в старину для получения керамики с такой сочной окраской (в зависимости от цвета) отожженную керамику сначала грунтовали соответствующим благородным металлом.

Участок, занимаемый Соборной мечетью, сравнительно ровный. До глубины 3,8—4,2 м залегает культурный слой, ниже, глубиной более 25 м — макропористый суглинок твердой консистенции. Грунтовые воды до глубины 25 м не обнаружены.

Фундаменты сооружений в основном сложены из рваных бутовых камней кремнистого сланца на сравнительно прочном (400—500 Н/см²) ганчевом растворе. Фундаменты пилонов главной мечети и входного портала сложены на кыре (известково-зольный раствор состава 1 : 3). Облицовка, как правило, крепилась на чистом гипсе.

Раскопки многих сооружений эпохи Тимура позволили установить следующий порядок сооружения фундаментов. Сначала выкапывались большие котловины глубиной 1,5—2,3 м, под более высокими тяжелыми элементами (пилоны входных порталов, минареты) глубина выемки значительно увеличивалась. Весь котлован несколько раз заполнялся арычной водой. Грунт в основании уплотнялся, получая большую объемную массу. Со временем влага с повышенных участков распространялась на смежные и испарялась.

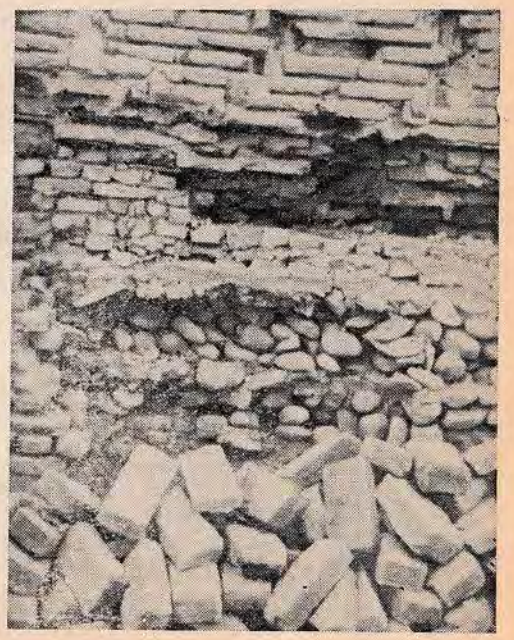
В настоящее же время влажность грунта как под фундаментами, так и на смежных незастроенных участках, за исключением северо-западного угла, где на расстоянии 7 м в грунтовой траншее протекает арык, не превышает 10%. Швы каменной кладки верхней части фундаментов (до 0,5—0,7 м ниже поверхности земли) оказались выветрившимися по толщине до 50 см. Кладка фундамента, расположенная ниже, представляет собой прочный монолит и, видимо, не пострадала от времени.

За 570 лет существования мечети ее стены до высоты примерно 2 м от поверхности земли получили глубокое разрушение под воздействием выветривания — увлажнения и последующих циклов замораживания — оттаивания. Глубина выветривания на внешних плоскостях наиболее нагруженных стен достигала 0,75 м, а на внутренних — до 0,25 м. Такая разница объясняется непосредственным увлажнением внешних плоскостей стен атмосферными осадками. Вместе с увеличением влажности кладки снижается (до 30%) и предел ее прочности. Здесь необходимо отметить то, что глубина выветривания прогрессирует с увеличением напряжений в кладке.

Согласно проекту (составленному автором книги), утвержденному Методическим советом по охране памятников Министерства культуры СССР, предусматривались следующие основные работы по инженерной консервации самаркандской Соборной мечети Биби-ханым. Ниже приводится описание общих для всех сооружений работ и тех из них, которые уже произведены под руководством автора.

Работы начались в 1969 г. с перекладки по всем сооружениям, кроме северо-западного углового минарета, нижних участков стен, включая и верхнюю часть фундамента. Все эти участки фотографировались до начала, во время производства и после окончания работ. Перекладка велась участками длиной 8—10 м сначала с внешних сторон, а потом с внутренних. Все без исключения поздние ремонтные работы, главным образом XIX в., были выполнены некачественно, легко разбирались и после очистки до прочной тимуровской кладки возводились заново.

В XIX в. в стене закладывался сырцовый



98. Кладка западной стены нижнего четверика Большой мечети после разборки наружной версты. Выше видна кладка из шлифованного кирпича времени Тимура

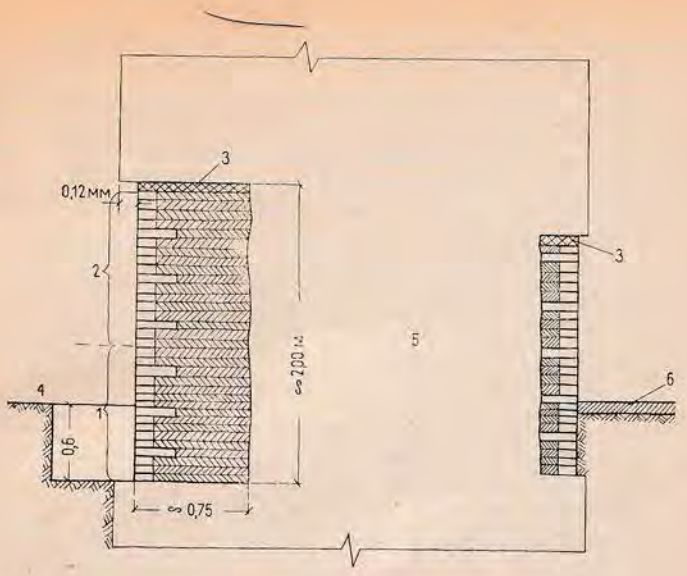
кирпич на глиняном растворе; при ремонте же западной стены Главной мечети в стены были заложены булыжные камни на глиняном растворе (рис. 98).

На всех плоскостях, где отсутствовали облицовка и следы от нее, кладку заменяли сразу по всей поверхности. Там же, где оставался раствор, к которому крепились облицовка или отдельные гранитные ленты, полуразрушенная кладка разбиралась между ними. Благодаря тому что замену полуразрушенной кладки вели вверх до упора к сохранившейся облицовке, замененная кладка не выступает из плоскости стены и на ней не будут задерживаться атмосферные осадки.

На тех разрушившихся участках стен, где сохранились следы древней облицовки, кладка не разбиралась, а укреплялась инъектированием в нее сульфатостойкого цементного молока. До производства этой операции вычистили, не нарушая следов в швах кладки, старый раствор, выветрившийся на глубину 5—6 см, и все швы между кирпичами набили по методу чеканки полусухим известково-сульфатостойким цементным раствором. Только после того, как нагнетаемое в кладку цементное молоко не будет вытекать из стены, можно приступить к нагнетанию. По опыту наших работ известно, что цементное молоко хорошо проникает в швы кладки и не заполняет внутренние поры кирпича. Для инъектирования применяли давление 4—6 ати. Закладку производили ранее использовавшимся, но хорошо сохранившимся старым жженым кирпичом.

Вопрос о том, какое применять вяжущее, встал перед автором в 1964 г., когда потребовалось заложить образовавшийся после выпрямления юго-восточного минарета медресе Улугбека проем. Примененные на этом объекте состав и способ оправдали себя и были вторично проверены на закладке стен сооружения Соборной мечети Биби-ханым.

От применения традиционного для Средней Азии алебастрового раствора автор отказался из-за того, что это очень пористый, малопрочный (400 Н/см²) и влагоемкий материал, который при увлажнении пухнет. Атмосферные осадки, увлажняя стены, глубоко проникают в швы кладки из гипсовых растворов и почти не проникают в глубь швов кладки на смешанных растворах с добавкой извести в пределах 10%, маловодопроницаемых и значительно менее пористых, но паропроницаемых. Алебастровый раствор имеет водопоглощение более 30%, с уменьшением при этом прочности на 50—70%. При 25-кратном замораживании и оттаивании потеря прочности алебастрового раствора достигает 60%. При применении алебастрового раствора вверху заложенного проема, как правило, образуется горизонтальная трещина, а приложенная кладка плохо скрепляется со старой из-за контракции — сжатия вследствие охлаждения при переходе в твердое состояние,



99. Закладка в несколько приемов ранее разобранной выветрившейся кладки
1 — первая очередь порядной закладки; *2* — вторая очередь порядной закладки; *3* — заклинка полусухим цементным раствором; *4* — поверхность земли; *5* — массив хорошо сохранившейся кладки стены; *6* — пол мечети



100. Южная стена Южной малой мечети. Видна нижняя реставрированная часть стены

Отслаивание новой кладки от старой и образование горизонтальных трещин вверху в месте примыкания к вышерасположенной старой кладке представляет для реставраторов сложную проблему. Чтобы контракция была меньше, прикладку необходимо вести постепенно, ограничивая ее высоту 0,75—1 м в одну смену для цементно-известкового раствора (рис. 99, 100), после чего желателен перерыв не менее чем на 12 ч.

Инженерная консервация памятников архитектуры требует применения наиболее прочных материалов, однако не допускает никаких перекладок, изменяющих внешний облик памятника. Исходя из этого, следует считать допустимым и даже обязательным применение более прочного цементного раствора с небольшой добавкой извести.

Чтобы сохранить внешний облик памятника, кладка ведется с пустошовкой, которую можно заполнить любым раствором, если стена будет оставлена без облицовки. Таким образом, прикладку следует вести во много раз более прочным, менее осадочным и, по существу, долговечным цементным раствором. Учитывая, что новая кладка должна прикладываться к существующей и для нее требуется меньшая усадка, был применен раствор марки М=500 Н/см² и не более М=750 Н/см². Ведь, чем меньше в растворе цемента и ниже водоцементное отношение, тем меньше усадка.

Проектом предусматривалось для прикладки применять тугопластичный раствор, как содержащий меньше воды. Чтобы цементный раствор не садился и был бы паропроницаемым, рекомендовался смешанный раствор — добавляли 0,1 части извести; кирпичи предварительно смачивали.

После этого был решен вопрос о том, какой применять цемент, учитывая, что при длительном соприкасании портландцементного раствора с гипсом происходит разрушение цементного раствора. После детального изучения и опытов на месте был принят сульфатостойкий портландский цемент. В тех случаях, когда этот материал отсутствовал, для прикладки применяли обычный портландский цемент, предварительно смачивая контактную плоскость старой кладки густым известковым молоком. Инъектирование, заполнение трещин и чеканку швов вели только смешанным сульфатостойким (цементно-известковым) раствором.

Существующий порядок работ по замене выветрившейся кладки также пришлось изменить. Обычно после разборки старой кладки в толстых стенах на всю глубину их разрушения укладывали сразу по 3 ряда версты, заполняли образовавшийся колодец на всю высоту половняком и щебенкой и сверху заливали жидким алебастровым раствором, который, глубоко не проникая, начинает схватываться. При разборке такой прикладки в ней обнаруживают ничем не заполненные

пустоты между половняками и очень малую площадь контакта-примыкания нового раствора к старой кладке.

Чтобы добиться хорошего заполнения всех швов и сцепления по всей контактной поверхности между старой и новой кладкой, был рекомендован и применен автором следующий способ. Сначала окамелком (толстой кистью из рогожи) смачивали поверхность старой кладки, очищенную стальной щеткой от слабого раствора. Кирпич, подлежащий укладке, подвозили в железных тачках, заполненных водой. Прикладку вели только порядно с такой же толщиной шва, как и в старой кладке. Затем пространство между старой кладкой и приложенной в один ряд верстой заполняли на 1/3 высоты вяжущим и в него с силой без всякой перевязки втапливали половняк, прижимая к старой кладке. После укладки следующего ряда версты заполняли раствором все швы между половняком предыдущего ряда. Причем толщина слоя раствора, уложенного над половняком, опять составляла 1/3 высоты одного ряда версты. В других случаях после возведения нескольких верстовых рядов образовавшийся колодец заполняли на всю высоту бетоном из цемента, извести и кирпичного щебня.

При завершении прикладки должен быть еще правильно заполнен и самый верхний участок примыкания. Для этого прикладку заканчивают, когда вверху остается незаполненной щель высотой 4—6 см. Только спустя 12 ч можно приступать к заполнению этой щели. Ее заполняют тугой набивкой — зачеканкой полусухим цементным раствором (без добавки извести). Лучше всего это производить способом торкретирования. Учитывая, что объем заполнения обычно бывает небольшой, эту щель набивают раствором вручную с сокола. Уплотнение же раствора ведут пневмотрамбовкой или с помощью ударов кулачком в торец обрезка доски, вставляемой в щель. После такой зачеканки раствора в щели не должна появиться даже волосная трещина (см. рис. 100).

Замену нижних разрушившихся участков стен, пилонов на новую кладку вели не по старым размерам, так, чтобы на керамическую облицовку оставалось не 60, а только 12 см. Такая толщина более чем достаточна для керамической облицовки, включая и необходимую толщину на раствор. На гранитную облицовку оставляли 15 см. Утонение облицовочного слоя хорошо сказывается на сохранении несущих стен и облицовки: стены утолщаются, а облицовочный слой утоняется.

Для лучшего сохранения арок всех мечетей необходимо принять такие меры, которые сдерживали бы их пяты от горизонтального смещения. Наиболее удачной инженерной конструкцией являются затяжки, которые в данном случае будут самым правильным и простым решением. Для этого на уровне пят всех арок необходимо завести стальные затяжки. Поскольку сечение затяжек небольшое и заводятся они на сравни-

тельно большой высоте, их почти не видно. Эти затяжки никак не нарушают архитектурный облик памятника.

Глубина заделки затяжек в пилоны зависит от необходимости соответствия силы сцепления металла с кладкой пилонов разрывному усилию затяжек. Так, для Большой мечети, согласно расчету, потребовалось 6 затяжек диаметром 32 мм каждая, а глубина заделки в пилоны 5,5 м. На всех затяжках имеются стяжные муфты. Чтобы каждой затяжке дать предварительное напряжение, равное приходящемуся на нее усилию от распора, она должна получить соответствующее укорочение. Это происходит при естественном охлаждении затяжки после ее нагрева до получения требующегося размера предстоящего укорочения. Последнее получается, когда удлинившаяся часть выбирается стяжной муфтой.

В стены как верхних, так и нижних четвериков всех мечетей заводится арматурная сталь в виде армированных швов. Для заводки каждого прута необходимо в стене на всю ее длину просверлить соответствующее горизонтальное отверстие. Для армированных швов в стенах Большой мечети потребовалась арматурная сталь диаметром 40 мм, а для малых — 36 мм. Исходя из этого, приняли диаметр канала 100 мм. Такое сверление производилось станком БСК-100, применяемым для бурения скважин в твердых породах. Этот станок при горизонтальном бурении обеспечивает точность ±0,01. Следовательно, при длине стены 24 м смещение канала вверх или в сторону составляет всего 24 см. Расстояния в одном шве между каналами принято в пределах 1 м.

Станок массой 3000 Н установили на трубчатые леса конструкции НИИОМТП. Скорость сверления кирпичной кладки в стенах и пилонах Большой мечети составляла 5 м/ч.

Количество вводимой арматуры в стены было определено расчетом исходя из того, что кладка должна воспринимать горизонтальные силы от 7-балльного землетрясения, принятого для Самарканда. Для заводки арматуры каналы в каждой стене сверлятся с той стороны, где обвалилась облицовка. Все армированные швы, как правило, располагаются над оконными или входными проемами.

Вверху по центру таких проемов в Большой мечети имеются сквозные трещины с потерей части кладки. При заводке арматуры в этих местах располагают стяжные муфты. Подвертыванием муфт придают арматуре предварительное напряжение. Работа ведется в следующем порядке. В первый крайний просверленный канал заводят арматуру на всю его длину. Следом в него же вставляют трубу диаметром 25 мм, через которую в канал подают сложный раствор (цемент+ +глина+пылеватый песок) состава 1:0,05:1,5. По мере заполнения канала раствором трубу извлекают. Часть длины канала вместе с участком над оконным проемом оставляют

незаполненной. Так заполняют все три канала одного арматурного шва. После установки всех арматурных прутьев поочередно нагревают не заполненные раствором участки над проемом и выбирают удлинившуюся часть прута натяжением стяжной муфты. Далее заполняют раствором и эти участки.

В тех местах, где армированный шов не проходит вверху проемов, натяжение прутьев ведется с торца подтягиванием гаек. Для этого сначала заполняют раствором часть длины прута, обеспечивающую его закрепление. Затем натягивают арматуру, заполняют весь канал раствором и после его затвердения отрезают конец прута вместе с шайбой и гайкой.

Верхним плоскостям всех конструктивных элементов придаются минимально необходимые уклоны для стока атмосферных осадков. Конструкции всех покрытий изготавливаются из монолитного керамзитожелезобетона (замена тяжелого бетона керамзитобетоном по предложению проф. Г. Ф. Кузнецова была утверждена Методическим советом Министерства культуры СССР, как снижающая массу, что важно для сейсмического района) со свесом и капельниками по краям для предупреждения от затекания воды на стены. Для стока воды предусматривается система водометов. Каждый водомет состоит из двух плоскостей, по которым стекает вода,— верхней и нижней. Вода, случайно не попавшая под верхний сток, стекает по нижнему. Длина водомета за пределами стен составляет 1,5 м.

Редкое расположение швов в покрытии и добавки к бетону симазина (1 Н на 1 м³) не создают благоприятной почвы для растительности и, наоборот, служат гарантией от зарастания открытых поверхностей.

При таком паронепроницаемом покрытии возникает необходимость в принятии специальных мер по осушению стен. Для этого под плитами покрытия в стенах устраиваются продольные каналы с поперечными выходами, имеющими уклон в сторону выхода. Последние устраиваются с внешних сторон стен и ограждаются керамическими решетками.

Северный пилон входной арки Большой мечети неравномерно сместился по горизонтали в северном направлении. Его восточная сторона отошла меньше, западная — больше, т. е. его как бы развернуло. Этот вывод базируется на том, что расстояние от северной пяты нижнего переката арки до пилона увеличивается с востока на запад. Северный пилон, отрываясь от четверика мечети, потянул за собой и примыкавшую к нему часть облицовки четверика на северном фасаде. В этом месте почти по всей высоте четверика часть облицовки на участке ее примыкания к западной плоскости пилона отошла в северном направлении вместе с пилоном более чем на 10 см.

Разворот северного пилона вместе с минаретом произошел,

вероятно, во время землетрясения, когда обрушилась часть сложенной в два переката арки, примыкавшей к щипцовой стене. По-видимому, из-за несовпадения амплитуд колебаний пилона и четверика мечети, включая и щипцовую стену, часть арки оказалась без опоры. Когда же арка начала обваливаться из-за увеличения расстояния между ее пятами, то стрела подъема стала уменьшаться, и по этой причине сила распора — увеличиваться. К силе распора еще добавилось динамическое воздействие на пилон от падения массивов кладки арки.

Вся арка не обвалилась, во-первых, из-за того, что восточная плоскость пилона отошла меньше, во-вторых, из-за того, что образовавшиеся близко к вертикали трещины в нижнем перекате арки, испытавшей растягивающие напряжения, быстро заполнились обломками кирпича, вывалившимися из той же арки и как бы заклинившими эти трещины. Благодаря этому часть кладки нижнего переката между трещинами не оторвалась от верхнего переката и не обвалилась. Следовательно, если судить по внешнему виду, арка находилась в явно аварийном состоянии (см. рис. 93). Чтобы не дать ей упасть при первом же предстоящем землетрясении, под аркой установили несущие трубчатые леса. Сверху на каждую из 59 стоек лесов, расположенных под аркой, установили ручные винтовые домкраты и приложили к каждому с помощью динамометрического ключа усилие в 35 кН. Так была ликвидирована опасность обрушения одного из интереснейших элементов комплекса.

В первую очередь установили в арке шесть затяжек с предварительным натяжением 150 кН в каждой. Выступающие пяты арки нижнего переката проще всего было поддержать консолями балок, заделанных в нижерасполагаемой кладке.

При утверждении проекта на Методическом совете рассматривался и второй вариант укрепления арки. Это предложение сводилось к устройству над аркой по всей ее ширине горизонтальной железобетонной (на керамзитовом щебне) балки, от которой вниз в арку спускаются арматурные стержни и скрепляют балки с кладкой арки. Методический совет предпочел предложенный автором метод затяжек. Чтобы лучше поддержать частично нависающие пяты арок нижнего переката, в северную щековую плоскость пилона завели консольно выступающие прутья арматурной стали. На консоли верхнего ряда этих прутьев в упор к пяте возвели кирпичную кладку. Далее проектом предусмотрено скрепление между собой как по вертикали, так и по горизонтали всех выступающих прутьев с обетонировкой образующейся сетки. Для обетонировки принят керамзитобетон. Указанное утолщение пилона осуществляется за счет ранее образовавшегося раз-

рыва от разворота и уменьшения толщины предстоящего слоя облицовки. Это позволяет получить надежную опору пятам свода.

После этого во все трещины свода через каждые 0,75 м вставляются на глубину в 0,5 м трубчатые инъекторы. Трещины между инъекторами заделываются раствором на глубину не менее толщины трещины. Поочередно, начиная с нижних инъекторов, нагнетается сульфатостойкий цементный раствор. Нагнетание раствора ведется до его появления в вышерасположенном инъекторе. Закончив полностью инъектирование, поверх второго переката арки, выровненной кладкой до одной вертикальной отметки, устраивается горизонтальный арматурный шов с заделкой концов арматуры в пилоны. На этом заканчиваются инженерно-консервационные работы по укреплению арки.

После закладки разрыва в барабане, в нижней его части, где отсутствовала облицовка, установили стальной обруч, которому было придано предварительное напряжение. Сечение этого обруча определили исходя из того, что он должен воспринять растягивающие усилия в барабане, образующиеся при землетрясении от возникающих горизонтальных сил в верхней части четверика. Второй такой обруч будет поставлен вверху барабана одновременно с восстановлением из керамзитожелезобетона внутреннего купола. К внешнему куполу прикрепили арматурную сетку, но еще не обетонировали.

Следует сказать и еще об одной проведенной работе по Большой мечети. На многих плоскостях облицовка полностью сохранилась, но отошла от основной кладки. Образовавшийся между ними разрыв заполнился мусором: пылью и частично щебенкой от отвалившейся с верхних плоскостей кладки. На рис. 25 показана часть щипцовой стены (после очистки ее от мусора) до начала работ по прижатию и скреплению отошедшей облицовки от основной кладки. Прижатие облицовки производилось в следующем порядке. Примерно через каждые 2 м по высоте и 3 м по длине и по центру диагонали к облицовке приложили раму из досок. В местах пересечения горизонтальных и вертикальных досок в упор к ним горизонтально установили 50 кН-ные винтовые домкраты. Вторые концы домкратов уперли в трубчатые леса. Чтобы последние не смещались под воздействием домкратов, их притянули стальными прутьями к анкерам, заделанным в той же щипцовой стене. После такого закрепления облицовка уже не могла больше отходить, поэтому можно было начать очистку щели от мусора длинными стальными прутьями.

Прижатие облицовки вели поочередно всеми домкратами (см. рис. 26). Причем длина хода винта у каждого домкрата при выправлении принималась разной — пропорциональной необходимому размеру в данном месте прижатия облицовки

к массиву кладки. Для этого сначала измеряли расстояния, на которые следует прижать облицовку каждым домкратом. Домкраты применялись одной системы, и, зная длину хода при одном полном обороте, установили пропорциональность размеров прижатия каждым домкратом. Там, где требовался наименьший размер прижатия, выдвигали винт на четверть оборота.

Чтобы прижатая облицовка скрепилась со стеной, в щель вставили трубки, через которые после прижатия облицовки нагнетали сульфатостойкое цементное молоко густой консистенции.

Кроме того, в имеющиеся в облицовке трещины просверлили каналы с заглублением в основную кладку не менее чем на 0,5 м и вставили в них на сульфатостойком цементном растворе прутья из нержавеющей стали. Такое крепление облицовки шпильками из нержавеющей стали предусмотрено проектом и для опустившейся облицовки на плоскостях массивов и минарета Главного портала. Таким же способом прижали и отошедшую облицовку на северной плоскости северного пилона.

Одновременно с установкой лесов внутри мечети произвели восстановление двух внутренних лестниц: в юго-западном и северо-западном углах. Пользуясь обнаруженными следами, восстановили входную арку при входе и юго-западную лестницу. Следов от входа в северо-западную лестницу не обнаружили. Эта лестница была частично заложена и вся засыпана мусором. Внизу, слева от лестницы, на уровне примерно поверхности земли, в массиве четверика обнаружили горизонтальный коридор, перекрытый сводиком. Под ним вниз по вертикали, вплоть до естественных напластований, находился засыпанный мусором колодец.

Чтобы землетрясение вызвало меньше разрушений, особенно в Большой мечети, рекомендуется произвести замену заполнения пазух у фундаментов из лессового грунта на гравий. Известно, что гравий является виброгасителем. В Самарканде имеется неограниченное количество дешевого гравия из р. Зарафшан. Пазухи у фундаментов предполагается заменить только с внешних сторон мечети. Выемка грунта ведется без креплений канавокопателем, а засыпка пазух — непосредственно самосвалами. Для предупреждения затекания атмосферных осадков в эти пазухи последние сверху перекрываются широкой с уклоном отмосткой из грунтобетона. Из-за землетрясений, как было сказано, произошло отделение большими сквозными трещинами портала (вместе с минаретами) от четверика Большой мечети. Проектом предусматривается сохранение этого разделения с должным оформлением шва в виде вертикальной линии, но наряду с этим и обеспечение неизменности размера разрыва между ними. С этой целью выше фундамента, начиная снизу, трещина на всю ее высоту расчищается, а затем ровно обкладывается кирпичом; в оставленный вертикальный шов толщиной в 5 см набивается шлаковата, смоченная в известковом молоке. Чтобы размер шва под влиянием землетрясений не увеличивался, в трех местах по высоте стыка примыкающих кладок заводятся шарнирно-скрепленные между собой стержни арматуры. Чтобы в шов не попадали сверху атмосферные осадки, он перекрывается консольно выступающей над ним плитой покрытия входного портала.

В Северной малой мечети рекомендуется произвести еще и подводку фундаментов до естественных напластований. Этой подводкой намечается выровнять основание до одной вертикальной отметки. До подводки фундаментов вдоль всех его лент и с обеих сторон ниже поверхности земли заводятся рандбалки. Подводка фундаментов ведется столбами в отдельных колодцах поочередно участками длиной по 1,25 м. На подготовку толщиной в 10 см укладывают в направлении расположения стен арматуру для создания внизу антисейсмического армированного пояса. В колодцы первой очереди закладывают арматуру, заталкивая ее в грунт на 20 см в ту и другую сторону шурфа. Благодаря этому при устройстве столба в смежном шурфе, применяя сварку, получают непрерывную арматурную ленту. Чтобы сооружение не дало осадок при подводке фундаментов, нужно произвести предварительное уплотнение более заглубленного основания специальным приспособлением. Это приспособление состоит из стальной рамы, имеющей снизу часто располагаемые микросваи диаметром 5 см, длиной 15 см (см. рис. 35). Перед укладкой подготовки на дно шурфа ставят эту площадку, имеющую сверху по центру телескопическую стойку, на которую устанавливают домкрат, упираемый в поперечину, прикрепленную к рандбалкам. После вдавливания микросвай в грунт раму вытаскивают и образовавшиеся углубления заполняют бетоном. Далее устраивают подготовку, укладывают арматуру и заполняют колодец бутобетоном, устраивая вверху, в примыкании к рандбалкам, заклинку полусухим цементным раствором.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Составление любого проекта инженерной консервации и реставрации памятника следует начинать с установления причин, вызвавших образование повреждений, так как без этого нельзя получить полноценного проекта. Проект инженерной консервации должен наряду с укреплениями несущих конструкций предусматривать и благоустройство его территории, и обеспечение нормального теплово-влажностного режима в памятнике.

В проекте должно быть указано, какие работы следует вести в первую очередь и на какие работы необходимо обратить особое внимание. К последним в основном относится укрепление участков с ослабившимися поперечными сечениями, тем более, если из них вываливаются камни и кирпичи; конструкций, которые до их укрепления из-за образовавшихся вертикальных трещин или крена требуют установки временных стоек, подкосов и др. Очень часто укрепления требуют те сооружения, по которым были проведены некачественные ремонтные работы. Ослабление несущих стен происходит при сверлении в них каналов для устройства антисейсмических поясов, в случае устройства в подошве фундамента штраб для заводки в них рандбалок и др. Так, подводке фундаментов столбами в колодцах или вдавливаемым сваям сопутствует ослабление (уменьшение площади) основания из-за необходимости выемки из-под фундамента грунта на отдельных участках. Здесь очень важно не только увеличивать число очередей (свести к минимуму одновременное уменьшение площади основания), но и как можно быстрее завершать эти работы. Действительно, при проходке колодца сначала происходит разрыхление примыкающего к стенам колодца грунта — призм обрушения, а потом спустя какое-то время, тем более при плохих креплениях стенок, разрыхление грунта распространится и в призмах сопротивления. Следовательно, чем скорее завершится устройство столба или вдавливаемой сваи, тем меньше осадка здания. Исходя из этого, следует начатую проходку колодца как можно быстрее завершить установкой в него столба или сваи. Таким образом, такие участки вплоть до их завершения не будут оставаться без надзора, что весьма существенно. Непрерывная работа вплоть до ее полного завершения необходима и при перекреплениях, так как нельзя оставлять незакрепленной конструкцию, которая получила большие повреждения и дополнительное ослабление при пробивке проема для ее вывешивания. На ослабленных и перенапряженных участках (стен, столбов, сводов) обычно сначала слышатся шорохи, потом потрескивания, а затем происходят обрушения. Появление шорохов свидетельствует о допущенном промедлении в укреплении, но это еще не значит, что такую конструкцию уже нельзя укрепить. В действительности трещины и отколы появляются не сразу за шорохами. Опыт работ автора показывает, что в стенах, особенно толстых, после образования шорохов и первых трещин обрушение наступает минимально спустя час, в пилонах быстрее и еще быстрее после образования трещин вдоль замков в сводчатых перекрытиях (покрытиях). Вообще при перенапряжениях конструкций, за исключением землетрясения, цунами или влияния резонанса (при совпадении собственных колебаний конструкции с колебаниями от соответствующей подвижной нагрузки), мгновенного обрушения не происходит.

В мировой практике известно несколько случаев, когда в сводчатых покрытиях образование шорохов и трещин произошло одновременно и вскоре наступило обрушение. В основном это имело место под случайными воздействиями, вызвавшими резкое удлинение стальных затяжек, воспринимавших распоры от сводов. Так произошло обрушение подобного покрытия из-за того, что приемная комиссия пожелала проверить работу труб отопления, верхняя разводка которого лежала на затяжках и еще не была изолирована. После пуска горячей воды затяжки удлинились и вскоре обвалились все своды.

О многих старинных зданиях и сооружениях в народе говорят: «Это древняя постройка, она еще постоит и постоит», предполагая, что все они обязательно прочны и долговечны. Однако не всем известно, что в прошлые времена далеко не все сооружения строились добротно и до нас дошли не только те, которые были построены «честно» и из хорошего материала. Пусть читателя не удивляет слово «честно», так как многочисленные факты показывают: немало памятников архитектуры превратились в руины не только под влиянием времени или из-за несовершенства технических знаний их строителей, но и потому, что были построены недобросовестно. Подрядчики древних эпох не отличались от подрядчиков последних веков. Даже колокольни, храмы, церкви, мечети они не гнушались возводить на «живую нитку». И в нашей стране есть немало памятников архитектуры, выполненных недоброкачественно и поэтому значительно раньше срока начавших разрушаться.

В массивных пилонах памятников Средней Азии обнаруживают наряду с бросовыми материалами пустоты. Известно, что подрядчики наживались на постройке Исаакиевского собора в Петербурге, недоброкачественно закладывая фундаменты.

При строительстве метро в Москве, когда вскрывали фундаменты близрасположенных к тоннелям старых, казалось бы, очень добротных зданий, находили в них большое количество строительного мусора. Таких примеров много. Это объясняется просто: когда подрядчики исходили в своих расчетах из стоимости кубометра кладки, они стремились без нужды повысить объем кладки фундамента и стен, используя в заполнении дешевые, а иногда и вовсе «даровые» некачественные материалы. И, наоборот, когда договор с подрядчиком подписывался на стоимость каждого кубометра здания, подрядчики старались делать фундаменты потоньше, не останавливаясь во всех случаях перед прямым нарушением строительных правил.

Наряду с применением более дешевых, а следовательно, и менее прочных материалов с целью наживы отрицательное значение имели и неправильные представления о задачах реставраторов. Однако производившиеся при реставрации достройки не только изменяли и искажали облик старого памятника, имели место и такие переделки, которые придавали памятнику большую выразительность.

Так, надстройка в XVII в. шатровых верхов башен Московского Кремля повысила их эстетическую выразительность. В некоторых случаях позднейшие добавления к памятникам, не повышая художественной ценности, сами по себе являются ценным произведением архитектуры. К последним относятся галерея, крыльца и шатровая колокольня, достроенные в 1680-х годах к московскому Покровскому собору — церкви Василия Блаженного. Наряду с пристройками повышали и этажность памятника. Так, в середине XIX в., реставрируя дом Романовых по ул. Варварке (ныне ул. Разина), над нижними этажами постройки XVII в. возвели третий деревянный этаж. Его возвели по аналогу со старинными изображениями в альбоме Мейерберга деревянного чердака Посольского приказа в Китай-городе. Пользуясь этим же аналогом, пристроили крыльцо и расписали часть стен под бриллиантовый руст.

Реставрируя в 1840-х годах Дмитриевский собор во Владимире, допустили другую ошибку. Реставраторы, исходя из личных сооружений, решили, что аркатурный пояс, расположенный по фасадам собора, имелся и внутри у пристроенных к западным третям боковых фасадов переходов к лестничным башням, а поэтому считая, что переходы были построены позже, снесли их. Здесь была допущена и другая ошибка: после сноса лестничных переходов стало невозможным попасть на хоры.

Во Владимире при реставрации собора Рождественского монастыря, производившейся в 1860-х годах, реставраторы, превратно предполагая, что каменных дел мастера XII в. вели кладку только в белом камне, снесли кирпичные лестничные башни, считая их позднейшими пристройками. Подобные нарушения говорят о том, что реставраторы должны сохранять патину времени и не всегда стремиться к восстановлению былого облика памятника.

Проект благоустройства территории необходимо увязывать с гидрогеологическими условиями местности: отводом атмосферных осадков от памятника,

а при необходимости и верховодки; восстановлением первоначальных отметок дневной поверхности и др.

Замощение территории должно обеспечить паропроницаемость для подстилающего грунта. Для этой цели рекомендуется булыжная мостовая и посадка растений, поскольку последние обладают свойством отсасывания влаги из грунта.

Проект тепловлажностного режима требуется в первую очередь, если в памятнике имеются росписи, фрески и другие элементы декора.

Проект кондиционирования следует составлять для широко посещаемых памятников с ценными декорами. В проекте тепловлажностного режима желательно рекомендовать приборы и способы определения температуры и влажности. Здесь следует предостеречь от применения разных приборов для определения температур и влажностей, ибо различные приборы могут дать разные показания. Измерение влажности методом отбора проб и высушивания до постоянной массы наряду с необходимостью изъятия части штукатурки и кладки требует еще и много времени (от 1 до 9 ч в зависимости от применяемых печей). За последнее время для определения влажности стен рекомендуются приборы, основанные на измерении электросопротивления и потери энергии нейтронов без отбора проб.

Во всех случаях следует считать, что проще устранить причину, вызывающую увлажнение, чем многократно ликвидировать последствия производством ремонта декора. Во всех случаях своевременный ремонт всегда обходится дешевле, чем лечение памятника, получившего повреждения.

Многолетняя практическая деятельность автора подтверждает, что сооружения, получившие большие деформации и даже находящиеся в аварийном состоянии, можно закрепить. В 60-х годах нашего столетия некоторые ученые Узбекистана считали, что Соборную мечеть Биби-ханым в Самарканде нельзя укрепить, так как она находится в руинированном состоянии. По-видимому, среди этих ученых не было опытного инженера-строителя, совмещавшего в себе теоретические знания строительной механики с методикой безосадочного перекрепления сооружений.

Специалисты по консервации в трудных случаях, часто возникающих при реставрации, должны предусмотреть возможные неожиданности. Чтобы не оказаться беспомощным, необходимо иметь неприкосновенный, аварийный запас средств, которые могут быть быстро применены для разгрузки деформирующихся участков сооружения. К этим средствам в первую очередь относятся: дубовые клинья, доски толщиной 50 мм, брусья сечением 16×16 см, механические домкраты грузоподъемностью 50—100 кН, тросы диаметром 12—15 мм и стяжные муфты.

Закрепить памятник необходимо и можно так, чтобы повторное его укрепление потребовалось не ранее чем через столетия. Наряду с требованиями высокой прочности закрепления необходимо еще и высокое качество их реставрационных работ.

Все работы следует максимально механизировать, отказываясь от повторения ранее применявшегося ручного труда. Этим самым повысится производительность, ускорится производство работ и снизится их стоимость. Способы производства работ должны все время совершенствоваться и тем самым снижаться трудоемкость.

При инженерной консервации памятников необходимо учитывать, что мы не имеем права вносить какие-либо изменения в его внешний облик. Внутри же стен можно и необходимо вводить такие усиления, которые требуются для более долгого сохранения памятника. Не только не обязательно применение таких же материалов, как при возведении памятника, но, наоборот, следует употреблять новейшие, самые прочные материалы, придавая им такой же вид, как в старину: цвет, форму и структуру. В старину, как правило, изготовляли очень прочный кирпич, прочную и сочную поливную керамическую облицовку и по сравнению с ними значительно менее прочный раствор. Что же касается лесоматериалов и естественных камней, то последние при необходимости могут заменяться такими же материалами, но по возможности защищенными от последующего их разрушения и загорания.

Инженерное укрепление стен, покрытий памятника должно вестись так, чтобы в обозреваемых конструкциях работы по перекладке не производились, но несущие конструкции укреплялись. Для каменной кладки это достигается инъектированием в нее цементного или смешанного молока. Такой способ многократно применялся, в том числе и автором, и всегда давал хорошие результаты. Однако, если перекладка для каменных стен недопустима, то обходиться без перекладки деревянных срубов не всегда удается. Так, известно, что можно антисептированием остановить дальнейшее загнивание древесины, но нельзя повысить ее несущую способность. Замену сгнившей древесины новой, хорошо антисептированной и защищенной от огня, надо считать вполне приемлемым способом реставрации.

Каменные памятники, расположенные в районах, подверженных сейсмическим воздействиям, следует укреплять заводкой в их стены на любой требующейся по расчету высоте в необходимом количестве горизонтально располагаемой арматуры. Пояса, устроенные в теле кладки фундамента, могут хорошо противодействовать 7-балльному землетрясению и увеличить долговечность памятника.

Можно укрепить памятник для противодействия и более чем 7-балльному землетрясению. Для этого наряду с устройством горизонтальных армированных поясов устраивают и вертикальные армированные стойки.

В определенных гидрогеологических условиях можно вместо усиления стен вертикальными стойками добиться не менее хороших результатов, если принять и другие меры, снимающие влияние землетрясения на памятник. К этим мерам относятся: замена пазух у фундаментов с обычного грунта на гравийный, заглубление фундаментов и понижение уровня грунтовых вод.

Известен случай, когда в Венеции во время реставрации после уборки с целью замены в оконном проеме толстых каменных наличников упала колокольня св. Марка высотой 98 м. Это произошло ночью, когда в колокольне никого и тем более опытного производителя работ не было, чтобы, услышав потрескивание, установить в проеме стойки и предотвратить обрушение. К сожалению, в литературе причиной обрушения названы деревянные сваи, которые якобы к этому времени сгнили. С этим нельзя согласиться, так как загнивание свай происходит постепенно, а значит, и осадка башни происходила бы постепенно. В действительности, до падения башни она никаких осадок не давала, тем более неравномерных, последнее подтверждается тем, что она не имела крена, т. е. она не обрушилась бы и через десятки лет. Подобное обрушение может произойти только при перенапряжении кладки. Так как она обрушилась почти до низа, то перенапряжение в кладке имело место в нижней части сооружения. Поскольку обрушение произошло во время реставрации и после того, как разобрали часть кладки вокруг большого оконного проема, расположенного на небольшой высоте, без установки в нем стоек, то нет сомнения в том, что именно это и явилось причиной падения колокольни. При большой высоте сооружения напряжение в кирпичной кладке и до разборки подлежащего к замене обрамления проема, по-видимому, было близко к пределу прочности. Случаев же обрушений, связанных с перенапряжением кладки, было много. Благодаря наличию обмерных чертежей колокольня св. Марка была построена заново.

Описанный случай показывает, что во всех случаях до начала реставрации обязательно устанавливать фактически действующие напряжения в несущих конструкциях, тем более, если предстоят работы по уменьшению их сечений. Ошибка реставраторов колокольни св. Марка не должна быть повторена.

В нашей стране сделано очень много для сохранения культурного наследия прошлого и в том числе памятников архитектуры. Строительная техника в настоящее время позволяет выпрямить, реставрировать, законсервировать, поднять, передвинуть и сохранить любой памятник, находящийся даже в аварийном состоянии, без изменения его внешнего облика, какой бы сложности он ни был и в каком бы аварийном состоянии он ни находился. Нельзя забывать, что всякая фальсификация исторических памятников лишает их художественного и научного значения. Так, в центре Киева доныне стоят руи-

ны древнерусского крепостного сооружения — Золотых ворот XI в., но никто не собирается снести или «достроить» их. В новой застройке Рима сохранены фрагменты и руины древних сооружений. Реставрировать (а не консервировать) памятник можно только в том случае, если точно известны или могут быть установлены его первоначальный облик и размеры.

Есть много памятников архитектуры, крены которых со временем перестают прогрессировать. Так, в Москве на Красной площади колокольня Покровского собора (храм Василия Блаженного) давно получила крен в полтора градуса. В дальнейшем эта колокольня крениться не будет, так как осадки стабилизировались и она опирается на прочные грунты.

В заключение необходимо отметить, что каждый значительный памятник — это по существу, музей. В памятнике есть ценная живопись, облицовочные плиты, всякие старинные засовы, замки, кольца, иногда представляющие ценность части отколотых орнаментов и др. Все это подлежит охране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ленин В. И.* О культуре и искусстве. М., 1956.
2. *Материалы* XXV съезда КПСС. М., 1976.
3. *Абелев Ю. М., Абелев М. Ю.* Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М., 1979.
4. *Багдасаров Ю. А. и др.* Технико-экономический анализ методов устройства оснований и фундаментов на грунтах со II типом условий по просадочности. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1977, № 4.
5. *Бартольд В. В.* Место прикаспийских областей в истории мусульманского мира. Баку, 1926.
6. *Вяткин В. Л.* Памятники древностей Самарканда. Самарканд, 1927.
7. *Ганичев И. А.* Устройство искусственных оснований и фундаментов. М., 1973.
8. *Гапеев С. И.* Информационное письмо № 24 Ленгипротранса. Л., 1957.
9. *Гендель Э. М.* Из опыта работы по подведению фундаментов. — Строительная промышленность, 1952, № 6.
10. *Гендель Э. М.* Крупноблочные фундаменты из беспесчаного бетона. ТЭКСО. М., 1955.
11. *Гендель Э. М.* Выпрямление минарета. — Основания, фундаменты и механика грунтов, 1973, № 6.
12. *Гендель Э. М.* Инженерная консервация мечети Биби-ханым в Самарканде. — Архитектура СССР, 1977, № 4.
13. *Гоголь Н. В.* Собр. соч., т. 6. М., 1952.
14. *Грабарь И. Э.* История русского искусства, изд. Кнебель. Спб. М., 1911.
15. *Грабарь И. Э.* О древнерусском искусстве. М., 1966.
16. *Жемочкин Б. Н.* Расчет рандбалок и перемычек. М., 1960.
17. *Засыпкин Б. Н.* Архитектурные памятники Средней Азии и их реставрация. — Вопросы реставрации. М., 1926.
18. *Захидов П. Ш.* Возрождение памятников Узбекистана. — Архитектура СССР, 1974, № 9.
19. *Инструкция* по силикатизации грунтов. М., 1960.
20. *Инструкция* по термическому укреплению просадочных макропористых грунтов И 202-55 МСПМХП. М., 1956.
21. *Карамзин И. М.* Соч., изд. 4-е, т. IX. Спб., 1835.
22. *Котов Г. И.* Некоторые заметки о реставрации древних зданий. Труды I съезда русских зодчих в 1892 г. СПб., 1894.
23. *Литвинов И. М.* Термическое укрепление просадочных лессовых и других грунтов. Киев, 1955.
24. *Мартин К. Х.* Как будет сохранен Абу-Симбел. — Курьер ЮНЕСКО, 1964, № 12.
25. *Массон М. Е.* Соборная мечеть Тимура, известная под именем Биби-ханым. Ташкент, 1926.
26. *Маслов Н. Н.* Механика грунтов в практике строительства. М., 1977.
27. *Материалы* совещания в Архангельске по сохранению памятников культуры Севера. Научно-методический совет по охране памятников Министерства культуры СССР (рукопись), 1966.
28. *Методика* реставрации памятников архитектуры. М., 1977.
29. *Михайловский Е. В.* Реставрация памятников архитектуры. М., 1971.
30. *Никитин Н. В.* Реставрация древних архитектурных памятников (по Виоле ле Дюку). Труды Московского археологического общества, т. XI, ч. III. М., 1887.
31. *Ополовников А. В.* Реставрация памятников народного зодчества. М., 1974.
32. *Покрышкин П. П.* Краткие советы по вопросам ремонта памятников старины и искусства. Псков, 1916.
33. *Практика* реставрационных работ. М., 1960.
34. *Ратия Ш. Е.* Мечеть Биби-ханым в Самарканде. М., 1950.

35. *Реставрация* и исследования памятников культуры. М., 1975.
36. *Руководство* по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., 1976.
37. *Сборник НИИ* теории и истории архитектуры. «Памятники архитектуры и современная городская застройка». М., 1973.
38. *СНиП III-Б. 5-62.* Стабилизация и искусственное закрепление грунтов. Правила производства и приемки работ.
39. *СНиП 1-В. 28-62.* Материалы для защиты деревянных конструкций от гниения, поражения древоточцами и возгорания.
40. *Степанов В. О. и др.* Опыт борьбы с разрушениями камня в памятниках архитектуры XII—XIII вв. Памятники культуры, т. 2. М., 1960.
41. *Технология* работ по реставрации, составленная НИПМ ВПНРК (рукопись). М., 1976.
42. *Указания* по закреплению песчаных грунтов карбамидной смолой. М., Госстройиздат, 1960.
43. *Фокин К. Ф.* Строительная теплофизика ограждающих частей здания. М., Стройиздат, 1973.
44. *Юнг В. Н. О* древнерусских строительных растворах. Сборник научных работ по вяжущим материалам. М., 1949.
45. *Яропольский И. В.* Основания и фундаменты гидротехнических сооружений. М., 1948.
46. *Balanos.* Les monumentsdel' Acropol. Paris, 1938.
47. *Leon P.* La vie monuments francais. Paris, 1951, s. 379.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 3

Глава I. Краткий исторический обзор и современное состояние техники инженерной консервации 8

Глава II. Причины, влияющие на разрушение памятников . . . 19

Глава III. Методы изучения и способы фиксации существующего состояния памятника 37

Глава IV. Способы производства работ по инженерной консервации памятников 52

Консервация деревянных зданий 54

Консервация каменных зданий 62

Мероприятия по борьбе с оползнями 81

Глава V. Усиление фундаментов и оснований 82

Глава VI. Пример методики подсчета нормативных нагрузок и рекомендации по расчету специфических элементов конструкций 115

1. Пример подсчета (эталон) нагрузок с определением напряжений в основании и усилий в затяжках 115

2. Рекомендации для подсчета некоторых нормативных нагрузок и расчета специфических элементов конструкций культовых зданий 124

Глава VII. Примеры из практики инженерной консервации . . . 125

Выпрямление крена колокольни Боровско-Успенской церкви в Архангельске 126

Подводка фундаментов столбами в отдельных колодцах под стенами Успенского собора в Рязанском кремле 127

Выпрямление крена звонницы в бывшей усадьбе Бориса Годунова Вязёмы Московской обл. 132

Подъем церкви в Ребежиштъ (Румыния) 141

Выпрямление колокольни церкви Иоанна Предтечи в Ярославле . . 143

Выпрямление минаретов в Самарканде 146

Инженерная консервация Соборной мечети Биби-ханым в Самарканде 169

Заключение 192

Список литературы 197