

Глава 5. ИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ РЕСТАВРАЦИИ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

5.1. Основные факторы разрушения памятников архитектуры

5.1.1. Диагностика причин деформаций и разрушений памятников архитектуры

Диагностика деформаций представляет собой одну из форм инженерных изысканий, выявляющую причины деформаций зданий и назначающую те или иные способы укрепления. Очевидно, что в сложном процессе реставрации диагностика разрушений и оценка технического состояния памятников — наиболее важные аспекты, определяющие степень инженерного вмешательства в сложившуюся конструктивную схему древних зданий. Известны примеры технических решений, осуществленных на основе ошибочного представления о работе конструкций или неполной диагностики, не учитывающей действие какого-либо скрытого фактора или «наложения» нескольких явных факторов. В этих случаях временно скрытые дефекты снова проявляли себя и, прогрессируя, приводили к еще более сложному состоянию, требующему новых дорогостоящих укрепительных работ, часто искажающих облик памятника.

Любому виду разрушения и деформации конструктивных элементов предшествует либо одна причина, либо, как правило, целая цепь взаимосвязанных причин, действующих в определенной последовательности и затрагивающих многие промежуточные связи. Поэтому для правильной оценки технического состояния и назначения способа укрепления необходимо выявление и построение **всей цепи** разрушающих причин.

Сложная взаимосвязь конструкций в сочетании с действием изменяющихся природных и иных факторов требует также четкого представления о функциях каждого элемента или явления в начальной, промежуточной и современной стадиях работы системы. Наибольшую сложность представляет диагностика разрушений и оценка несущей способности древних распорных конструкций — арок и сводов, что объясняется:

спецификой сводов как пространственных систем, имеющих кладочную структуру;

их зависимостью от состояния вертикальных несущих элементов и связевого каркаса;

многообразием возможных трансформаций и перераспределений нагрузок, изменяемостью рабочей схемы¹.

Основой диагностики служит, прежде всего, изучение статического состояния здания — его конструктивной системы, характера деформаций, а также сопоставление полученных данных с данными инженерно-геологических изысканий. Кроме того, в ряде случаев прибегают к изучению динамики деформаций путем сбора сведений о состоянии памятника в прошлом, повторных геодезических измерений повышенной точности и установки маяков на трещины. Маяки выполняются из раствора, гипса или иных материалов и снабжаются надписями, содержащими дату и порядковый номер, после чего периодически производится осмотр маяков с записью результатов наблюдения в специальный журнал.

¹ В прил. 3 разбираются принципы работы основных сводчатых конструкций, применявшихся в русской архитектуре.

5.1.2. Причины деформаций и разрушений памятников архитектуры

Все виды деформаций памятников можно разделить по причинам происхождения на две основные группы:

1) деформации, связанные с внутренним, изначально заложенным пороком конструкции или системы «основание — памятник»;

2) деформации, вызванные действием внешних, вторичных непредусмотренных факторов.

Причинами деформаций в первой группе могут быть:

неустойчивое естественное или искусственное основание фундаментов — лёсс, ил, просадочные и пучинистые грунты, бревенчатые распределительные подушки, деревянные сваи, различная органика;

оползневый, карстовый, затапливаемый или сейсмический характер участка древнего строительства. Наличие родников, близкий уровень грунтовых вод;

слабый (рыхлый, мелкозаложенный и т. п.) фундамент сооружения, непропорциональная нагрузкам площадь ленточных и столбчатых фундаментов в различного рода сооружениях, например храмах крестово-купольной системы;

боковое давление грунта в подпорных стенках, засыпных цоколях, подвальных и ступенчатых конструкциях;

недостаточная общая пространственная жесткость зданий (большепролетные и длинные сооружения, здания с высокорасположенным центром тяжести масс); большая деформативность сжатых элементов — колонн, стен, сводчатых перекрытий;

слабый или незамкнутый связевой каркас;

невосприимчивый распор арочно-столбчатых систем и сводчатых перекрытий;

нерационально приложенная или чрезмерная нагрузка на перекрытия; внецентренная нагрузка вертикальных несущих конструкций;

использование слабого — трещино-

ватого или нестойкого к атмосферным воздействиям строительного материала (например, недожженного кирпича, сырой древесины); нерациональная ориентация блоков анизотропного¹, например слоистого, материала; нерегулярный характер кладки;

неблагоприятный разрушающий режим работы некоторых прочных строительных материалов, например новгородского железистого известняка, в фундаментных конструкциях, разрушающихся в агрессивной грунтовой среде, или элементов металлического связевого каркаса, корродирующих в гигроскопичном известковом растворе старой кладки;

нерациональная для водостока или снегозадерживающая форма кровельных поверхностей; несовершенная гидроизоляция, способствующая намоканию и размораживанию кладки конструкций перекрытия (позакомарные покрытия, ступенчатые кровли с козышниками, плоские кровли открытых галерей, лестничные площадки, балконы и др.);

отсутствие деформационных и строительных швов в разнообъемных, вытянутых или одновременных сооружениях.

Причинами деформаций второй группы обычно бывают результаты человеческой деятельности: ирригационные работы, перепланировка и застройка участка памятника, внутренние перестройки в целях приспособления и различные эксплуатационные мероприятия. К внешним причинам деформаций относятся также преднамеренные разрушения отдельных конструкций, последствия войн и стихийных бедствий.

Вторичными причинами деформаций, в частности, являются:

изменение гидрогеологических условий участка памятника при обводнении и осушении территории с уменьшением несущей способности основа-

¹ Т. е. обладающего разными свойствами по разным осям.

ния (снижение сил сцепления водонасыщенного грунта, гниение деревянных свай и другой органики, образование карстовых пустот, засоление грунта);

рытье котлованов, бомбоубежищ, прокладка различных коммуникаций или линий метрополитена вблизи памятников; устройство глубоких подвалов и колодцев внутри существующих зданий;

несоблюдение технологии при подводке фундаментов;

пристройка к памятнику дополнительных объемов с большим заглублением фундаментов или значительной нагрузкой на основание;

строительство рядом с памятником сооружений, оказывающих на него боковое давление;

перепланировка и перестройка зданий с изменением начальной рабочей схемы (растеска и закладка проемов; замена сводчатых перекрытий плоскими; разборка существующих перекрытий или устройство дополнительных; демонтаж воздушных связей, разборка контрфорсов и контрфорсирующих пристроек);

изменение (увеличение, перенос) эксплуатационной нагрузки;

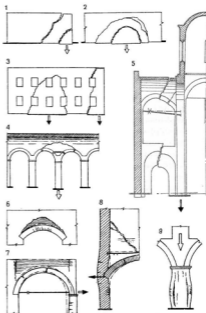
вибрационное воздействие транспорта, забивка и погружение свай, работа двигателей, генераторов и вентиляторов внутри здания; использование механизмов ударно-вращательного бурения для устройства шпуров и скважин инъекционного укрепления кладки;

дефекты кровель, водосточков, отстойков; протечки водопровода и канализации;

нарушение оптимального температурно-влажностного режима памятника;

усушка древесины, обмятие узлов стержневых деревянных и комбинированных систем;

неорганизованный сброс отходов химических и перерабатывающих предприятий, загрязнение воздуха различными соединениями, активно разру-



56. Признаки деформирования зданий
1 — стадия провала угловой или концевой части сплошной стены; 2 — последовательная просадка средней части стены; 3 — просадка угла в средней части здания; 4 — просадка колонны арочно-стоечной системы; 5 — просадка центрального модуля

черки крестово-купольной системы; 6 — усадка раствора арочной перемычки; 7 — поджимка плиты подпругной арки; 8 — поджимка плиты свода междуэтажного перекрытия; 9 — отслаивание и вымучивание лишней кладки при перегрузке пилона

шающими строительный материал памятников.

Разделение причин на группы может быть использовано в диагностике деформационных процессов и в их «управлении» при эксплуатации и ремонте памятников.

По внешнему виду деформации разделяются на:

вертикальные — осадки фундаментов, отдельных конструкций или частей здания, усадка и раздавливание кладки, смятие и усушка деревянных несущих элементов; разрушение основных или

временных поддерживающих конструкций;

горизонтальные — подвижки фундаментов и частей памятника, смещения пят отдельных сводов, арок и распорных систем, расползание стропильных ног при утрате затяжек, расслоение кладки при коррозии закладного металла, температурные деформации;

изгибные — искривление внецентренно нагруженных стоек, тонких стен и других элементов, прогибы балок и плит перекрытий, провисы поясов ферм, местные выполаживания кладки сводов;

смешанные — представляющие сочетание нескольких видов деформаций.

Каждому виду деформации соответствует свой характерный внешний признак — раскрытие трещин или швов, разрыв связей, образование зазоров в узлах ферм и т. п. (рис. 86). Пластичная кладка может деформироваться без образования трещин — с плавным наклоном и искривлением швов или равномерным их раскрытием. Сложные деформации пространственных конструкций сопровождаются иногда раскрытием на фасадах и в интерьере целой системы различно ориентированных трещин, указывающих на стадийность процесса или «соподчиненность» сходящихся в деформационном блоке элементов.

5.1.3. Причины и виды разрушения распорных систем

Состояние арок и сводов, служащих элементами перекрытий, находится в прямой зависимости от состояния вертикальных несущих конструкций — стен, колонн, пилонов, а следовательно, от состояния их строительного материала, фундаментов и основания. С другой стороны, как распорные системы своды зависят от состояния конструкций, удерживающих распор, т. е. от связевого каркаса, контрфорсов, смежных сводов и т. п.

Арки, своды и их системы дефор-

мируются и разрушаются, если не обеспечиваются:

неподвижность опор (опорного контура), т. е. внешний по отношению к распорной конструкции фактор устойчивости;

нормальное обжатие арочной формы, т. е. внутренний фактор устойчивости кладочной распорной конструкции.

Причинами горизонтальной подвижки опор могут быть:

недостаточная начальная жесткость стен, диафрагм и других вертикальных конструкций, несущих своды, их податливость действию распора;

снижение общей начальной жесткости при расчленении единой объемной конструкции на отдельные деформационные блоки;

подвижка (с просадкой) вертикальных конструкций при смещении, наклоне или местном разрушении фундаментов;

разрушение или перестройка конструкции смежного объема, ранее уравновешивающей распор рассматриваемого свода, например замена арочного перекрытия плоским;

разрушение или подвижка контрфорсов;

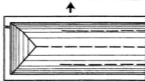
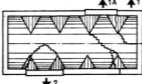
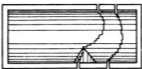
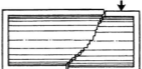
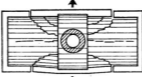
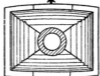
частичное или полное разрушение связевого каркаса, разрыв воздушных связей, выход из строя их анкерных частей (рис. 87).

Вертикальное перемещение пят свода возможно при просадке или разрушении опор (центрального столба, ступени), а также при растеске большого дополнительного проема под пятой свода, например уничтожении простенка между распалубками. Следует отметить гораздо меньшую чувствительность сводов к осадкам опор, чем к их горизонтальным подвижкам.

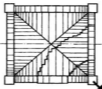

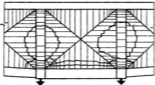
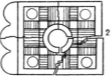


Внутренними причинами разрушения арок и сводов при достаточной стабильности опор часто служат:

нерациональная форма применительно к данной нагрузке;

недостаточная толщина, излишняя зыбкость свода;

ТИП СВОДА ИЛИ СИСТЕМЫ СВОДОВ	НАПРАВЛЕНИЕ И ВНЕШНИЙ ПРИЗНАК ДЕФОРМАЦИИ	ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ (КОРОБОВЫЙ) СВОД. "ЧИСТЫЙ" ИЛИ С ЛОТКОМ		УСАДКА РАСТВОРА, ПЕРЕГРУЗКА СВОДА, РАВНОМЕРНАЯ ПОДВИЖКА ОПОР
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ СВОД С РАСПАЛУБКАМИ		1, 1 А – СТАДИИ ПРОСАДКИ ИЛИ ПОДВИЖКИ УГЛОВОЙ ЧАСТИ ОПОРНОГО КОНТУРА. 2 – ПРОСАДКА ПРОСТЕНКА МЕЖДУ РАСПАЛУБКАМИ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ СВОД		ПРОСАДКА (С ПОВОРОТОМ) ТОРЦЕВОЙ ЧАСТИ ОПОРНОГО КОНТУРА
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ СВОД		ПОПЕРЕЧНЫЙ СДВИГ ЧАСТИ ЗДАНИЯ (ПРИ ЖЕСТКОЙ КЛАДКЕ СВОДА)
ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ СВОД С ГУРТОМ ИЛИ ПОДЛУЖНОЙ АРКОЙ ПОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ		СИММЕТРИЧНАЯ ПОДВИЖКА ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ. ОБЩАЯ СЕДЛОБРАЗНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ СВОДА
СОМКНУТЫЙ СВОД С ЦЕНТРАЛЬНОЙ НАГРУЗКОЙ		ПОДВИЖКА ОПОРНОГО КОНТУРА И ЛОТКОВ ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ИЛИ ОБРЫВЕ ВОЗДУШНЫХ СВЯЗЕЙ

87. Схемы деформаций сводов (слева) и распорки систем (справа)

ТИП СВОДА ИЛИ СИСТЕМЫ СВОДОВ	НАПРАВЛЕНИЕ И ВНЕШНИЙ ПРИЗНАК ДЕФОРМАЦИИ	ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ
<p>КРЕСТОВЫЙ СВОД НА СТОЛБЧАТЫХ ОПОРАХ</p>		<p>ПРОСАДКА ИЛИ ПОДВИЖКА ОПОРЫ</p>
<p>КРЕСТОВЫЙ СВОД С ЗАМКНУТЫМ ОПОРНЫМ КОНТУРОМ</p>		<p>СДВИГ ЧАСТИ ОБЪЕМА</p>
<p>СИСТЕМА КРЕСТОВЫХ СВОДОВ СО СТОЛБЧАТЫМИ ОПОРАМИ И ПОДПРУЖНЫМИ АРКАМИ</p>		<p>ПОДВИЖКА ДВУХ СОСЕДНИХ СТОЛБЧАТЫХ ОПОР ОДНОГО РЯДА</p>
<p>СИСТЕМА ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СВОДОВ И ПОДПРУЖНЫХ АРОК ПЕРЕКРЫТИЯ ХРАМОВ КРЕСТОВОКУПОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ</p>		<p>ТЕМПЕРАТУРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ - 1, ПРОСАДКА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО УГЛА ЗДАНИЯ - 2</p>
<p>КУПОЛ НА БАРАБАНЕ ИЛИ ОПОРНОМ КОЛЬЦЕ</p>		<p>РАЗРЫВ КОЛЬЦЕВОЙ СВЯЗИ БАРАБАНА, "РАСПОЛЗАНИЕ" ОПОРНОГО КОЛЬЦА ПРИ ПЕРЕГРУЗКЕ</p>
<p>ПАРУСНЫЙ СВОД, КУПОЛ НА ПАРУСАХ И ПОДПРУЖНЫХ АРКАХ</p>		<p>ПРОСАДКА ИЛИ ПОДВИЖКА УГЛОВОЙ ОПОРЫ</p>

превышение допустимой нагрузки на свод или неправильное размещение нагрузки;

разрушение или старение строительного материала — кирпича, раствора, металла связей.

Разрушению сводов могут способствовать различные неоправданные ремонтно-реставрационные мероприятия, например покрытие сводов непроницаемой цементной, бетонной или иной «защитной» коркой.

5.1.4. Систематизация признаков деформаций сводов

Характерные для любого типа сводов деформационные трещины или раскрытия швов располагаются в зонах с максимальными растягивающими или сдвигающими напряжениями. Первый тип трещин ориентируется в плане приблизительно перпендикулярно направлению деформации, второй — вдоль контактов между различными деформационными блоками, по технологическим «швам» или слабым связям. Применительно к основным типам сводов и основным видам деформаций можно выделить следующие характерные расположения трещин:

в цилиндрических сводах и их системах — на нижней поверхности — вдоль шельги и по линии контакта с распалубками; в системах — по линии «смыкания» в угловых частях и вокруг центральных столбов при их просадках;

в крестовых сводах и системах — вдоль оси распалубок, вокруг замковой части при ее провисании; перпендикулярно к диагональному ребру (вблизи опор), поперек подпружных арок, вдоль ребра (иногда с последующим выпадением части распалубки) при просадке и сдвиге опор;

в сомкнутых сводах — вдоль образующих на внешней поверхности лотков на уровне $1/2-1/3$ (высоты арки) от пяты свода; по линии смыкания в угловых слабообжатых частях; по контактам с распалубками как в цилиндрических и лотковых сводах;

в крестчатых сводах — на внешней поверхности центральных арок на расстоянии $1/2-1/3$ от уровня опоры при отсутствии воздушных связей; по линии сопряжения между центральными арками и угловыми сомкнутыми частями свода;

в куполах — меридиональные трещины на внешней и внутренней поверхностях в интервале $2/5-4/5$ от уровня пяты — при нерациональной форме и отсутствии боковой пригрузки при центральной перегрузке свода; в уровне пяты при «расползании» опорного кольца или коррозии шпильных кольцевой опорной связи.

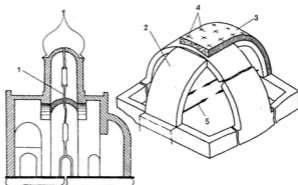
Хрупкие деформации, свойственные сухой кладке на обычных известковых и сложных растворах марки 10—25, сопровождаются образованием хорошо выраженных «классических» трещин или раскрытых швов. Упругие деформации жесткой кладки на высокопрочных растворах могут не проявляться длительное время, но с наступлением усталости перенапряженного материала возрастать скачкообразно. Влажная, пластичная кладка может деформироваться без образования трещин с постепенным раскрытием швов в растянутой зоне. В этом случае расклинка отдельных камней или блоков, обеспечивающая существование свода, будет иметь место и при очень сильном выполаживании, вплоть до предельного сокращения высоты сжатой зоны свода и обрушения.

5.2. Методы инженерного укрепления памятников архитектуры

5.2.1. Общие принципы укрепления памятников

Выбор элемента укрепления. Конструктивное укрепление при реставрации подразумевает восстановление, поддержание или усиление функций конструктивных элементов древних зданий. Если сооружение к моменту

88. Выбор элементов укрепления
 1 — температурно-деформационное расчленение объема с образованием дискретной системы; 2 — система перекрестных арок, усиление второстепенного элемента при критической деформации главной арки; 3 — железобетонная дублирующая арка; 4 — алмазные стержни; 5 — связи



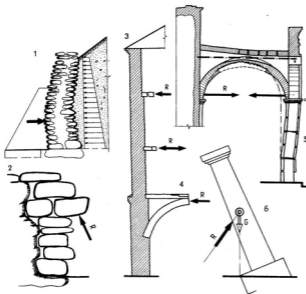
реставрации утратило некоторые свои элементы, то они могут быть либо реконструированы и включены в работу в целях восстановления начальной или близкой к ней рабочей схемы, либо заменены современными конструкциями, как инертными к сложившейся системе, так и активно на нее влияющими.

Некоторые архитектурные памятники представляют лишь фрагменты сооружений, случайные и разрозненные, с измененными функциями. Другие, так называемые дискретные системы, внешне сохраняя начальную архитектурную форму, могут полностью потерять свое конструктивное содержание. Поэтому их укреплению должно предшествовать выявление сложившихся конструктивных схем и современных функций каждого элемента. Эффективность укрепления во многом зависит от того, насколько выбранные для укрепления элементы действительно являются на данной стадии главными, стержневыми, несущими.

Приведем пример подобного выбора. Перекрытие одного из помещений Московской консерватории представляет систему двух центральных перекрестных арок, на которые опираются угловые распалубки. Одна из арок выполнена в регулярной радиальной кладке, другая образуется из двух

полуарок, упирающихся в центральный участок первой арки, т. е. имеет горизонтальную вставку длиной $1/3$ пролета. Вторая, составная арка с нерациональной формой оси способна нести приблизительно в 3,5 раза меньшую нагрузку, чем первая и по своей функции — вспомогательная. К настоящему времени главная арка деформировалась настолько, что ее несущая способность снизилась в 7,5—8 раз, и большая часть нагрузки перераспределится на вспомогательную арку, ставшую основным дублирующим элементом. Поскольку восстановление функций главной арки оказалось невыполнимым, общее укрепление конструкции заключалось в снятии избыточной нагрузки именно с дублирующего элемента, т. е. со вспомогательной арки (рис. 88).

Особой аргументации требуют проекты укрепления дискретных систем. Например, попытка восстановления функций связевого каркаса, расчлененного трещинами, но стабильно существующего в виде независимых блоков объема крестово-купольной системы, может оказаться совершенно лишним мероприятием, не способным каким-либо образом «улучшить» сложившуюся статику сооружения. Те же воздушные и стеновые связи, установленные в потенциально неустойчивой дискретной системе, будут полезным профи-



89. Части планов и разрезов, требующие «открытого укрепления»:
 1 — деформированная подпорная стена; 2 — нависающий блок цокольной кладки; 3 — тонкая стена с образующимся перекрытием; 4 — консольный фрагмент арки или свода; 5 — неустойчивая опора арочной системы; 6 — наклонившийся пилон или стена

лактисческим элементом, препятствующим дальнейшему «расползанию» деформационных блоков.

Реконструкция утраченных конструкций с использованием современных материалов, например восстановление части обрушенных кирпичных столбов, несущих своды или стены из железобетона, может активно воздействовать на сложившееся равновесие системы, вызвав перераспределение сил и их концентрацию на границе нового, более жесткого элемента.

Скрытые и открытые конструкции укрепления. Дополнительно вводимые конструкции могут быть скрытыми внутри укрепляемого элемента или объема или открытыми. Возможны также комбинации скрытых и открытых конструкций или их сочетания с технологическими видами укрепления — цементацией, силикатизацией и др. Выбор способа укрепления диктуется рядом конкретных условий, в первую очередь техническим состоя-

нием памятника и требованиями эстетики. Любой способ, приемлемый сам по себе и даже успешно примененный на нескольких памятниках, может быть скомпрометирован при его механическом перенесении на объект с иным диагнозом деформации или при низком качестве работ.

Примером неудачного использования открытых конструкций может служить выполненное в 1980 г. противаварийное укрепление церкви Андрея Стратилата в Новгородском кремле. Вытянутый низкий объем одноглавой церкви XVII в. своей западной частью опирается на остатки стен лестничной башни Борисоглебского собора XII в., раскрытых как археологический объект. Вследствие неоднородности основания и повышения уровня грунтовых вод здание опасно деформировалось с образованием многочисленных трещин, воздушные связи вышли из работы. Конструкция укрепления состоит из открытого

наружного бандажа и соединяющих его четырех воздушных связей. Бандаж, выполненный из металлических прокатных балок, висит на наружных концах связей, две из которых заделаны к тому же в трещины. Конструкция не препятствует какой бы то ни было деформации объема, кроме того, крайне неэстетична.

Скрытые конструкции укрепления, обычно предпочитаемые реставраторами, могут иногда оказаться менее удачными, чем открытые, или даже непригодными, например из-за несовместимости свойств древних и новых материалов, особой сложности и неоправданно высокой стоимости работ. Так, часто наблюдается разрушение белокаменной кладки коррозией скрытых металлических балок и связей или повреждение фресок при бетонировании внутренних каналов и инъектировании пустот.

Как ни парадоксально, но иногда от скрытых конструкций отказываются именно по эстетическим мотивам. Подчас так происходит при попытках укрепления различными скрытыми каркасами и сердечниками наклоненных стен, столбов и башен, арочных «консолей» и т. п. Такие элементы сооружения с явно незамкнутой рабочей схемой, требующие логического, открытого подтверждения устойчивости, будучи укреплены неявно, останутся зрительно неустойчивыми и как бы аварийными (рис. 89).

5.2.2. Усиление фундаментов и оснований

Подводка фундаментов — один из наиболее известных и достаточно часто применяемых способов укрепления зданий, заключающийся в увеличении площади подошвы и заглублении фундамента методом частичной или полной замены старой фундаментной кладки. Подводка ленточных фундаментов выполняется участками («захватками»), длина которых зависит от прочности вышележащей кладки (стен, цоколя, фундаментов), наличия в ней

проемов, трещин, а также от глубины заложения фундаментов. Сравнительно короткие захватки 1,5—2 м под глухими стенами, допускающими перенос давления, выполняются обычно без крепления. При подводке фундаментов в сложных условиях (большая глубина, осыпающаяся кладка, сосредоточенная нагрузка) применяется временное крепление захватки в виде стоек, поперечных или продольных рам, распределительных балок и т. д. (рис. 90). Конструкция временного крепления должна учитывать возможность размещения армокаркасов и опалубки, а также перестановки или демонтажа.

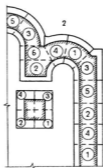
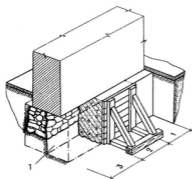
Подводная часть фундамента выполняется обычно из монолитного бетона или железобетона; иногда применяется бутовая кладка. Порядок раскрытия и бетонирования захваток назначается из условия, что каждая раскрываемая и бетонируемая захватка — под защитой смежного участка.

Деревянные стойки, балки и торцовая опалубка извлекаются по окончании бетонирования захватки. Металлическое крепление иногда замоноличивается в бетоне. В этом случае снижается опасность деформаций, вызываемых, например, усадкой бетона или местными неучтенными нагрузками. Усадочные зазоры чеканятся и инъектируются.

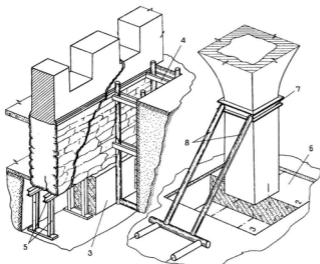
Значительную сложность представляет подводка фундаментов под отдельно стоящие столбы, пилоны, нагруженные простенки и т. п. Порядок раскрытия захваток в этом случае должен исключить длительное внецентренное обжатие кладки и основания. Усиливаемые столбы и простенки должны быть максимально разгружены (см. рис. 90).

Подводкой фундаментов укреплены Успенский собор в Рязани, собор Рождества Богородицы и крепостные стены Пафнутьев-Боровского монастыря, многие памятники Кирилло-Белозерского монастыря и др.

Условиями для оптимального применения данного способа считают:



90. Подводка фундаментов
 1 — углубление и расширение фундамента с заменой рыхлой кладки железобетоном; 2 — план захваток (в кружках — номера захваток); 3 — подводка железобетонного литого фундамента под существующий при глубоком заложении; 4 — крепление стенок траншей; 5 — металлические рамы временного крепления; 6 — подводка фундамента под пилон; 7 — металлическая обойма; 8 — подкос



значительную протяженность укрепляемых конструкций;

ленточный характер фундамента и отсутствие сосредоточенной нагрузки на него;

монолитность укрепляемых стен и фундаментов, регулярную кладку (из кирпича или белого камня), отсутствие или небольшое количество низкорасположенных проемов и трещин;

небольшое заглубление подводимых фундаментов (до 2—2,5 м);

низкое стояние грунтовых вод; достаточную несущую способность грунтов. основания — не меньше 0,15 МПа.

Важным условием становится и тщательность производства работ, так как даже при незначительном отступлении от технологии могут возобно-

виться старые деформационные процессы или даже возникнуть новые просадки с трещинообразованием. Необходимость подводки фундаментов под столбы и пилоны должна быть вообще особо аргументирована.

Метод становится нерационален или невозможен:

при глубоком заложении фундаментов, требующем большого объема земляных работ и особого крепления котлована;

при малой высоте или большой ширине подводимого фундамента;

при валунной, рыхлой, осыпающейся кладке укрепляемых фундаментов и стен;

в аварийных ситуациях, под наклонными или неустойчивыми стенами и столбами, не имеющими крепления; при высоком уровне грунтовых вод.

Усиление фундаментов с помощью обойм. В тех случаях, когда подводка фундаментов затруднена или существует опасность новых просадочных деформаций (при малоквалифицированном неконтролируемом производстве), существующие фундаменты могут быть усилены и расширены с помощью боковых прикладок в виде отдельных бетонных блоков, лент или обойм. Дополнительные прикладки или обоймы рассчитываются либо на избыточную часть нагрузки (по несущей способности основания), либо на восприятие полной нагрузки, что подразумевает соответствующий контакт между фундаментной кладкой и бетонной конструкцией.

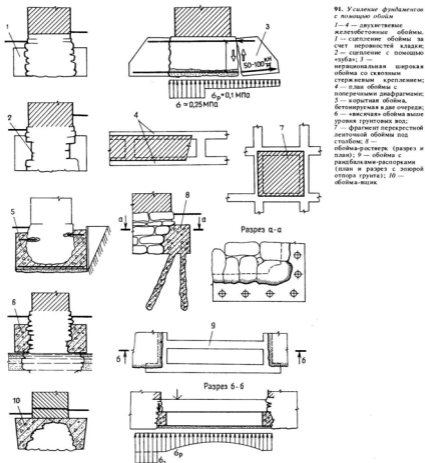
Способ соединения старой и новой частей фундамента зависит от величины передаваемой нагрузки, площади контакта, характера старой кладки и др. Если, к примеру, функции обойм планируются умеренными (до 30% общего давления), а древний фундамент сложен из валунов и бута, то для надежной передачи нагрузки может быть достаточно простого сцепления бетона с неровностями кладки. При плотных блококаменных или кирпичных фундаментах используются шпуночные сое-

динения с обоймой в виде бетонного «зуба», поперечных металлических балок или арматурных стержней. Размер «зуба» рассчитывается на отпор грунта по скалыванию менее прочного из соединяемых материалов, а длина и число металлических шпунков — по смятию материала фундамента. Помимо сдвигающего усилия шпуночные соединения испытывают и растягивающие усилия, которые тем выше, чем больше площадь опирания обойм и чем меньше их высота. (Несложный расчет показывает, что только для удержания от поворота обоймы, показанной на рис. 91, при планируемом отпоре грунта 0,1 МПа требуется погасить от 50 до 100 кН растягивающих усилий на каждом погонном метре.) Сложность сквозного поперечного армирования фундаментов, анкеровки арматуры и защиты ее от коррозии не позволяет считать широкие обоймы рациональными и длительно надежными конструкциями.

Наилучшие результаты дают узкие двухветвевые обоймы или одинарные обоймы, замкнутые по ограниченному контуру и не испытывающие крутящего момента.

При необходимости значительно увеличить площадь опирания фундамента могут быть рекомендованы перекрестные обоймы, в которых отпор грунта нагружает и «свободные», не связанные с фундаментами элементы.

Системы перекрестных обойм разработаны для укрепления ряда памятников Новгорода (Знаменского собора 1682 г., Спасской башни кремля 1485 г.). В Москве данный способ успешно применен для усиления надрывной церкви Даниловского монастыря (реставрация 1983—1985 гг.). В свое время здание, имевшее неравномерную просадочную деформацию объема, было разобрано до половины высоты. Масса надстраиваемой части — около 350 т — требовала увеличить площадь фундаментов приблизительно на 30%, что было достигнуто устройством двух незамкнутых



91. Усиление фундаментов с помощью обойм

1—4 — двухъярусные железобетонные обоймы. 1 — усиление обоймы за счет неровностей кладки; 2 — усиление с помощью «зубов»; 3 — иррациональная широкая обойма со сквозным стержнем и креплением; 4 — план обоймы с поперечными диафрагмами; 5 — корытная обойма, бетонируемая в два приема; 6 — «висюлька» обойма выше уровня грунтовых вод; 7 — фрагмент перекрестной ленточной обоймы под столбом; 8 — обойма-ростверк (разрез и план); 9 — обойма с раздвижными распорами (план и разрез с анкерной отпорой (грунт)); 10 — обойма-шпик

одинарных железобетонных обойм, врезанных в фундаменты центральных пилонов и соединенных тремя мощными связевыми балками. Балки рассчитаны на реактивное давление (отпор) грунта, создаваемое концевыми нагрузками.

Следует остановиться на особой разновидности ленточных и замкнутых фундаментных обойм, разгружающих слабые, перегруженные участки осно-

вания и передающих избыточное давление на устойчивые зоны. Такие обоймы, выполняющие функции раидаблук, использованы, например, для разгрузки основания под центральными столбами Благовещенского собора в Горьком. В сочетании с системой подземных контрфорсов обойма «подхват» применена для разгрузки фундамента Новобратского корпуса в Соловецком монастыре.

В некоторых случаях конструкция обойм позволяет использовать их в качестве ростверток свайных фундаментов. Сваи могут быть установлены либо заранее, до бетонирования ростверка, либо во вторую очередь, когда обойма уже существует и возникает необходимость ее усиления (см. свайные фундаменты).

Замкнутые железобетонные обоймы могут быть использованы и как сугубо стальные конструкции в качестве:

профилактических бандажей, препятствующих независимому перемещению деформационных блоков разорванных трещинами зданий; подземных антисейсмических поясов;

защитных «рубашек», «ящиков» и т. д. для слабых, разрушенных фундаментов и археологической кладки; такие «рубашки» иногда сочетаются с инъецированием разрушенной кладки или устройством распределительных бетонных плит или стяжки по верхнему обрезу (северная галерея Троицкого собора Астраханского кремля, павильон «Грот» усадьбы Кусково).

При всем различии конструкций и назначении обойм они обладают одним общим свойством — не нарушают сложившегося контакта между подошвой фундамента и основанием.

Свайные и комбинированные способы усиления фундаментов. Интересным видом укрепления кладки стен и фундаментов, а также грунта основания можно считать их армирование так называемыми «корневидными», или буронъекционными сваями. Буронъекционные сваи, разработанные более 30 лет назад итальянской фирмой «Фондедилле», успешно применяются в Европе и СССР для укрепления объемов архитектурных памятников и современных зданий при их деформациях, просадках, увеличении нагрузок. Корневидными сваями укрепляют также подпорные стены, набережные, оползни, откосы и стенки глубоких выработок.

Буронъекционная свая пред-

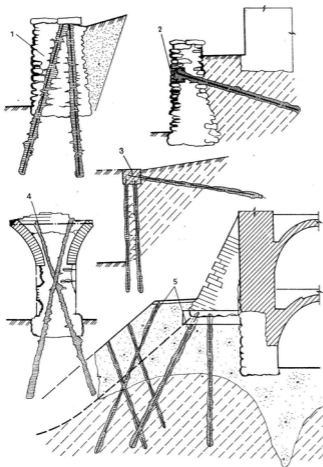
ставляет собой шпур диаметром 75—150 мм, армированный 1—3 стержнями и заполненный под давлением 2—4 атм. цементно-песчаным раствором. Бурение производится электрическими станками вращательного бурения на глубину 10—30 м и более под любым углом к вертикали. Бурение каменных стен и фундаментов производится шарошечным долотом, меры предосторожности при бурении рыхлых, неустойчивых кладок приблизительно те же, что и при сверлении шпуров анкерного крепления; при проходке грунтов основания используются обсадные трубы.

Избыточное давление, создаваемое при опрессовке сваи, позволяет заполнить раствором не только ствол сваи, но и пересекаемые им пустоты, раковины, трещины и пустые швы. Таким образом, заполнение сваи, пробуренной через кладку цоколя или фундамента, способствует замолочиванию и укреплению этой кладки.

В зависимости от габаритов укрепляемого сооружения, вида нагрузки и деформации буронъекционные сваи могут быть применены как жесткие сжатые, сжато-изгибаемые и растянутые стержни. Возможные варианты расположения свай показаны на рис. 92.

Буронъекционные сваи хорошо сочетаются с косвенным армированием кладки, железобетонными обоймами и другими скрытыми и открытыми конструкциями укрепления. Одно из основных достоинств буронъекционных свай — их «лояльность» к сложившейся статике (системе «памятник — среда»).

Несущая способность буронъекционной сваи зависит от ее рабочей схемы (свая — стойка или висчая свая), геологии участка, качества заполнения и опрессовки. Например, интервал «возможностей» сваи диаметром 152 мм и длиной около 10 м может составлять от 50 до 250 кН. Предварительно рассчитанная несущая спо-



92. Буроинъекционные сваи
 1,2 — укрепление
 подпорных стенок; 3 —
 предварительное крепление
 стенок глубоких выработок;
 4 — комплексное
 укрепление кладки пилона,
 фундамента и основания;
 5 — предложение по
 креплению «висячих»
 кофферсов и настильного
 оголовка у Трапезной палаты
 Андроникова монастыря

способность сваи проверяется контрольными испытаниями.

Применение буроинъекционных свай может быть нерациональным в следующих случаях:

при укреплении валунных фундаментов, так как бурение затруднено, а «заделка» сваи в теле фундамента (как и его инъецирование) осуществляется плохо из-за несоответствия

физико-механических свойств нагнетаемого раствора и непористого материала валунов;

при укреплении археологических руин или других конструкций из слабого, осыпающегося материала, не выдерживающего динамику бурения;

при неблагоприятной геологии участка и необходимости чрезвычайно глубокого бурения.

Ростверки с применением буронабивных свай. Буронабивные сваи могут применяться для создания фундаментных конструкций, частично дублирующих старые фундаменты или полностью их разгружающих. Конструкция сваи образуется при заполнении бетонной специально пробуренной в грунте (и армированной сварным каркасом) скважины диаметром более 200 мм. В отличие от корневидных свай буронабивные проходят только через грунт и только снаружи здания на расстоянии не менее 1—1,5 м от линии укрепляемых стен. Передача нагрузки на вынесенный свайный фундамент осуществляется с помощью поперечных балочных конструкций, которые тем сложнее и протяженнее, чем шире расставлены оси свай. Способ применим, таким образом, к сооружениям относительно небольшой ширины (до 6 м): крепостным стенам, пилонам, столбам, контрфорсам, малым башням и колокольням, узким зданиям (рис. 93). Ограничивающим фактором служит и определенная сложность при проходке ригеля (под фундаментом и сквозь фундамент) и размещении буровых машин. Предпосылкой к применению способа может стать очень большая линейная (или сосредоточенная) нагрузка на фундамент в сочетании с плохой геологией участка.

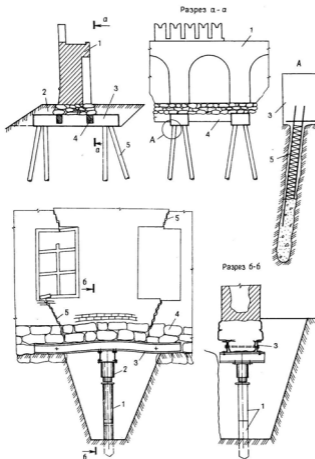
В проекте укрепления аварийного участка прясла Новгородского кремля (между Спасской и Княжей башнями) использованы буронабивные сваи-стойки диаметром 400 мм, длиной 8 м, заложённые по обе стороны стены группами по четыре сваи и объединённые мощным (2×1,5 м) железобетонным ригелем в уровне существующих фундаментов. Длина балок между внутренними рядами свай около 6,5 м, шаг 7—7,5 м, полная нагрузка на сваю около 400 кН. Необходимость укрепления прясла была вызвана его нарастающими просадками и креном вследствие изменения гидрорежима участка и разрушения (гниения)

древнего бревенчатого ядра кремлевского вала. При выборе варианта проекта было учтено то обстоятельство, что устройство «плавающих» ленточных фундаментов или висячих свай не гарантирует от новых просадок при разрушении органики основания; инъекционные же способы укрепления были отвергнуты как исключающие возможность археологических изысканий в этой части кремля.

Вдавливаемые сваи, как и буронабивные, используются при необходимости восприятия очень больших нагрузок укрепляемого сооружения при неблагоприятной геологии участка. Метод задавливания свай состоит в погружении свай под фундаменты или стены здания с помощью домкрата, упирающегося через распределительную траверсу в кладку фундамента. Вдавливающей сваю нагрузкой служит, таким образом, масса здания. Максимальное усилие, развиваемое домкратом, должно соответствовать состоянию равновесия между несущей способностью сваи (по материалу сваи и грунту) и приходящейся на нее нагрузкой.

Вдавливаемые сваи представляют собой металлические или железобетонные секционные конструкции, наращиваемые по мере погружения секций. Домкрат крепится (подвешивается) к траверсе (наддомкратной балке), которая заделывается концами в кладку смежных участков (рис. 94). Размеры траверсы, конструкция и шаг свай зависят от мощности используемого домкрата и состояния нагружающей конструкции. (Так, при укреплении Потешного и Большого Кремлевского двorcов в Москве по проекту инж. Э. М. Генделя использовался 350-тонный домкрат для задавливания металлических трубчатых свай диаметром 351 мм с шагом 2—3 м.)

В отличие от описанных выше способов укрепления фундаментов, являющихся медленными или профилактическими в отношении передачи нагрузок, задавливание свай представляет



93. Схема укрепления
 арки ростверка на
 буронабивных сваях
 1 — крепостная стена; 2 —
 каменный вали; 3 —
 ростверк; 4 — рабобалка;
 5 — буронабивная свая
 диаметром 400 мм

94. Двухлопастные сваи
 1 — трубчатые звенья свай;
 2 — гидравлический
 домкрат; 3 —
 наддомкратная балка; 4 —
 фундамент; 5 — трещины
 деформации простенка при
 отказе свай или катке
 балки

активный процесс передачи нагрузки, влияющий на статику здания и состояние его конструкций уже при производстве работ. Именно вследствие своей активности метод задавливания свай требует особо строгого соответствия между расчетными жесткостями и нагрузками, а также постоянного контроля при производстве. Например, при недостаточной высоте наддомкрат-

ной балки или при «отказе» свай работающий домкрат способен приподнять нагружающий сваю участок здания с образованием поперечных трещин. Известными недостатками способа являются также большой расход металла и необходимость устройства глубокой траншеи вдоль фундамента (не менее 2,5 м от наддомкратной балки при высоте секции свай 1 м).

5.2.3. Усиление столбов, стен и простенков

Укрепление при перегрузках. Необходимость усиления каменных стен и столбов возникает при механических повреждениях кладки, расщепках проемов, ликвидации промежуточных перекрытий, чрезмерных нагрузках, наличии трещин или других признаков деформации и т. д. Следствием каждой из причин становится перегрузка рабочих сечений кладки, либо внешнетрещинно обжатых, либо многократно сокративших несущую способность, например при раслоении конструкции на отдельные гибкие элементы. Поэтому большинство видов укрепления стен и столбов заключается в обеспечении местной устойчивости обжатой кладки.

Традиционным способом укрепления служит устройство внешнего «корсета» или обоям, препятствующих горизонтальному «расползанию» кладки. Обоймы столбов и узких простенков представляют собой систему нескольких угловых профилей, объединенных между собой горизонтальными поперечными связями, шаг которых зависит от гибкости стоек и величины сжимающего давления. (Следует заметить, что «горизонтальная составляющая», принимаемая в расчетах равной $10 \div 15\%$ вертикальной нагрузки, увеличивается по мере раслоения и деструкции кладки.) Металлическими обоймами укреплено множество столбов и простенков древних зданий, в том числе центральный столб Грановитой палаты Московского Кремля и столбы в помещениях так называемой Собственной половины Большого Кремлевского дворца. Для усиления широких простенков используются иногда двухсторонние корсеты в виде плоских сварных решеток, соединенных арматурными стержнями через просверленные в кладке отверстия. Подобным образом закреплены слабые и перегруженные стены старого здания МХАТ (реставрация 1980-х годов).

Металлические корсеты маскируются обычно в специально пробиваемых штрабах или внутри толстого штукатурного слоя, что создает значительные трудности при укреплении столбов и пилонов сложного профиля, несущих лепной или живописный декор.

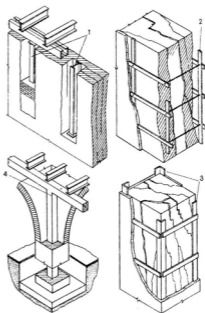
В практике реставрации нередки случаи замены старого строительного материала более прочным современным. Это может быть простая внешняя с перевязкой и сквозная перекладка с армированием опасной зоны. Например, аварийный просевший столб крыльца церкви Троицы в Никитниках (Москва) был разобран и переложен вместе с фундаментом (с временным сложным «вывешиванием» вышеуказанных конструкций). Перегруженный (безуспешно «усиляемый» еще в XVIII в.) раздавленный простенок алтарной преграды церкви Спаса за Золотой решеткой в Московском Кремле был переложен (также с временной разгрузкой) при реставрации 1979 г. Иногда старая кладка сохраняется фрагментарно или только в качестве облицовочного слоя, скрывающего внедренный в тело конструкции металлический или железобетонный несущий элемент (рис. 95). Заделка современного несущего каркаса в ветхую или перегруженную кладку — довольно сложная задача, связанная с необходимостью глубокого штрабления, введения разгрузочного элемента, временного крепления и т. д. Кроме того, должна быть обеспечена полная передача нагрузки на новую конструкцию, так как включение в совместную пропорциональную работу разнородных материалов практически неосуществимо из-за различных модулей деформации. Именно по этой причине при реставрации западной стены надвратной церкви Перервинского монастыря были демонтированы чугунные стойки XIX в., которые первоначально предполагалось сохранить внутри восстанавливаемых кирпичных пилонов. Металлические стойки достаточно часто применяются также для

усиления или разгрузки деревянных зданий каркасного типа и срубов.

Укрепление при структурном разрушении кладки. Под структурным разрушением здесь подразумевается, во-первых, деструкция строительного материала кладочных элементов, а во-вторых, нарушение монолитности кладочной структуры целых конструкций. Структурному разрушению подвергается перегруженная, а также мокрая кладка (при протечках кровель и коммуникаций, капиллярном подсосе влаги из грунта, коррозии закладного металла, изменении температурно-влажностного режима).

Характерные признаки структурного разрушения при перегрузках — образование системы X-образных трещин, выкальвание треугольных призм и истощение обжатых сечений, иногда — вертикально ориентированных трещин, расслоение или волнообразное искривление поверхностей. Морозное и солевое разрушение при замачивании может быть выражено в размягчении и выпадении раствора из швов в поверхностном слое, отслоении и падении целых слоев кладки, образовании рыхлого, осыпающегося щебеночного конгломерата.

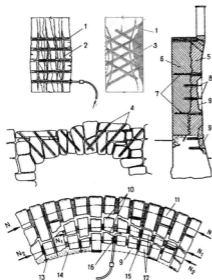
Перечисленные виды разрушений создают необходимость разработки так называемых технологических или комбинированных способов укрепления, например армирования и инъекции кладки (рис. 96). Расслоившиеся кирпичные конструкции могут быть укреплены системой анкеров стержней, установленных в просверленные отверстия нормально или под некоторым углом к плоскости расслоения. На первой стадии стержни работают как противоаварийные элементы, препятствующие дальнейшему расслоению и уменьшающие свободную длину каждого слоя как самостоятельную сжимаемую конструкции. На второй стадии при инъектировании зазоров между слоями анкеры стержни воспринимают избыточное давление раствора, создаваемое насосом и спо-



95. Усиление каменных конструкций при перегрузке: 1 — кладка металлического каркаса в ветую кладку; 2 — корсет из перекрестных металлических полос; 3 — обойма из угловых профилей; 4 — устройство современного каркаса с полной рифловой и перекаладкой исторической конструкции

собное вызвать обрушение наружного слоя. Далее, после твердения раствора и склеивания слоев, стержни служат элементами армирования.

Часто расположенными пересекавшимися стержнями «косвенного» армирования укрепляются перегруженные аварийные конструкции небольшого сечения — столбы, контрфорсы, арбутаны. Для массивных стен большого протяжения, имеющих одну или две открытые боковые поверхности, возможно только поперечное армирование. Поярусное расположение стержней, концы которых могут быть объединены арматурными сетками, удобно для создания «опорных» армированных рядов или железобетонных поясов



96. Инъекционное и комбинированное укрепление кладки
 1 — комбинированное укрепление кладки
 2 — металлические стержни «косвенного» армирования; 3 — инъекционные пустоты и шпур; 4 — штукатурное заполнение зон утрат;
 5 — анкеровое крепление проема в бутовой кладке;
 6 — современная докладка;
 7 — стержни поверхностного

анкерного крепления;
 8 — стержни местного армирования и инъекирования; 9 — зоны утрат; 10 — трещины расщелины свода; 11 — ось устойчивой слатой зоны; 12 — местные арочные образования; 13 — металлические костыли поверхностного крепления; 14 — штукатурный намет; 15 — радиальное армирование свода; 16 — инъекционные пустоты

при восстановлении утраченной лицевой кладки.

Анкеровое крепление и другие комбинированные способы требуют высокой культуры производства. Для армирования рекомендуется применять нержавеющей металл, количество черного металла должно быть минимальным даже при его антикоррозионном покрытии. Коррозия закладного металла в сырой кладке способна привести к ее разрывам и расслоениям, выдергиванию растянутого стержня или анкера, сдвигу и обрушению блоков кладки. Практика показывает, что в условиях некачествен-

ного производства работ анкерное крепление или армирование особо ответственных конструкций следует рассматривать только как часть укрепительного комплекса, но не как основной или единственный вид укрепления.

Инъектирование специально подобранными растворами представляет собой современный и весьма рациональный способ укрепления кирпичной, каменной и смешанной кладки, расчлененной трещинами на крупные и средние блоки или на щебеночные фракции. Эффективность инъекционного укрепления зависит от структуры кладки, степени ее расслоения, влажности и химического состава материала, качества раствора, частоты скважин и других факторов. Наилучшие результаты обычно достигаются при инъектировании сравнительно сухой, расслоившейся кладки из кирпича, белого камня, песчаника и туфа при раскрытии трещин более 1 мм. Тесаная кладка из гранита, базальта и других тяжелых непористых материалов укрепляется инъекцией плохо, так как не происходит отбора воды, и раствор, заполняющий швы, остается рыхлым, слабо сцепляющим разорванные трещинами блоки и отдельные камни. Вообще затвердевший инъекционный раствор должен быть близок по своим физико-техническим свойствам к материалу кладки. Компонентами растворов могут быть известь-тесто, цемент, кварцевая пыль, белокаменная мука, цемянка. Для нагнетания растворов используются ручные или механические насосы, создающие давление до 6—8 атм.

Инъекция нежелательна для укрепления кладки стен и сводов, имеющих темперную или масляную живопись, так как отбор воды из раствора сопровождается движением солей, разрушающим грунт и живописный слой.

Укрепление гибких и наклонных стоек и стен. К внешне неустойчивым конструкциям, требующим введения открытых, логически завершающих рабо-