

## К ВОПРОСУ ОБ ОБСЛЕДОВАНИИ ФУНДАМЕНТОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ИХ УСИЛЕНИИ

**С. Г. БОГОВ** – НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», Санкт-Петербург, Россия.

Рассмотрены проблемы, возникающие при обследовании и усилении фундаментов исторических зданий, в основании которых имеются деревянные элементы. Приводятся конкретные примеры усиления старинных зданий, возведенных как в слабых водонасыщенных грунтах Санкт-Петербурга, так и в других условиях.

### ВВЕДЕНИЕ

Проведенные нами в последнее время обследования конструкций и состояния фундаментов исторических зданий (Б. Меншиковского дворца в Ораниенбауме, Константиновского дворца в Стрельне, здания Биржи на Стрелке Васильевского острова, Шуваловского дворца на Фонтанке, фундаментов церкви Успения Пресвятой Богородицы монастыря Оптиная Пустынь Успенского подворья и др.) подталкивают к более глубокому поиску и изучению архивных материалов. В большинстве случаев сравнительно легко можно найти архитектурные планы и фасады (рис. 1). Материалы же, интересующие инженеров, обследующих фундаменты, не сохранились. Крайне редко можно получить документальные данные по фундаментам обследуемого здания (рис. 2) [1].

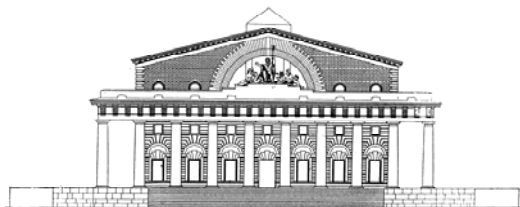


Рис. 1. Архитектурный фасад здания Биржи на Стрелке Васильевского острова в Петербурге

О большинстве исторических зданий известно, что они строились продолжительный период, за который могли измениться архитектурный замысел, функциональное назначение, поменяться подрядчики. Даже возведенное здание могло неоднократно перестраиваться, при этом возводились новые или использовались существующие фундаменты. Недоучет опыта первостроителей может стать причиной неверного подхода к обследованию и привести к неадекватным выводам.

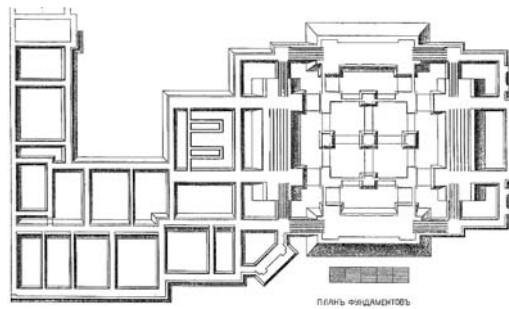


Рис. 2. План фундаментов церкви Успения Пресвятой Богородицы монастыря Оптиная Пустынь Успенского подворья на Васильевском острове [1]

Наличие деревянных элементов в основании является одной из возможных причин развития деформаций наземных конструкций исторических зданий. Поэтому крайне важным является своевременное их выявление в ходе обследования.

## МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

На первом этапе обследования анализируется имеющаяся исходная информация: уточняются время и этапы строительства. По архивным материалам определяются инженерно-геологические и гидрологические условия площадки.

Большинство скважин, расположенных в районе исторического центра Петербурга, выполнялись в 40–60-х гг. XX в., зачастую глубина скважин не превышала 20 м. Данные о физико-механических и деформационных свойствах грунтов в большинстве случаев не указывались. Однако по этим материалам и состоянию здания можно получить представление о возможной конструкции фундамента и технологии устройства здания.

На втором этапе обследования намечаются места вскрытия шурфов. Откопка шурфов до подошвы фундаментов для большинства таких зданий, к сожалению, осложнена высоким уровнем подземных вод (около 1,5 м от уровня сегодняшней дневной поверхности). Откачка подземных вод из шурфов возможна при соблюдении мероприятий, исключающих явление суффозии под подошвой обследуемого фундамента. Во многих случаях при откопке подошвы фундамента остается не выясненным вопрос наличия деревянных элементов в основании. Получить ответ на этот вопрос очень важно для принятия решения об усилении фундаментов. Известно, что для гниения древесины достаточно создать определенные условия: доступ воздуха, влажность воздуха более 25%, положительную температуру и заражение спорами грибов. В современных условиях, когда техногенные воды стали существенно агрессивнее, свойства древесины, заложенной в основании фундамента, видимо, могут ухудшаться и без прямого доступа воздуха.

При приближенном определении ширины подошвы фундамента на естественном основании в определение величины расчетного сопротивления грунта основания и осадки вносится ошибка. В большинстве случаев шурф откапывается только с одной стороны фундамента, а ширину подошвы при этом

определяют из условия симметрии. В действительности же форма фундаментов в начале XX в. во многих случаях отличалась от трапецевидной (рис. 3). Фундамент из симметричной формы переходил в несимметричную, когда равнодействующая нагрузка имела наклонное направление, выходила за пределы средней трети ширины подошвы или когда фундамент возводился рядом с соседним зданием [2]. Несимметричную форму фундамент имел при строительстве зданий с подвалами, предназначенными для жилья. В условиях Санкт-Петербурга считалось достаточным даже при строительстве многоэтажных зданий при возведении фундаментов на естественном основании заглублять подошву фундамента ниже пола жилого подвала на  $3/4 \dots 1$  аршина (т.е. 0,5...0,7 м).

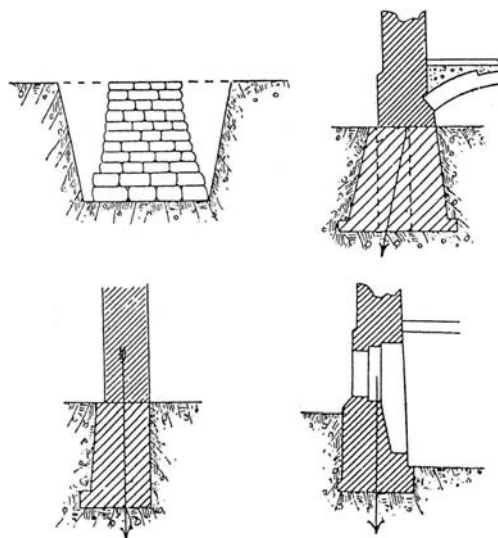


Рис. 3. Примеры устройства фундаментов на естественном основании [2]

Для повышения качества проводимого обследования и получения более детальной информации о состоянии, составе кладки фундаментов, а также грунтов, залегающих в их основании, должно проводиться бурение изыскательских скважин с полным подъемом керна колонковым способом. При обследовании целесообразно выполнить бурение 10...20 скважин диаметром 59...73 мм в наиболее характерных местах. Это позволяет более уверенно судить о состоянии фундамента, глубине заложения и наличии (или отсутст-

вии) деревянных элементов в основании фундаментов. По направлению волокон поднятого дерева можно судить о типе деревянного элемента (свая или лежень). Бурение также позволяет отобрать грунты основания для лабораторных исследований.

#### УСТРОЙСТВО ФУНДАМЕНТОВ НАЧАЛА XX В. НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ

Строительство зданий Санкт-Петербурга ведется на слабых водонасыщенных грунтах. А. И. Тилинский [2] в руководстве для проектирования и постройки зданий при необходимости строительства в условиях слабых грунтов, изданном около 90 лет назад, приводит практические способы улучшения свойств оснований.

*Уплотнение грунта трамбованием.* Использовались трамбовки весом до 1 пуда (16 кг), при этом уплотнение грунта предполагалось всего на глубину 0,2...0,3 сажени, т. е. 0,42...0,64 м [2]. Считалось, что более рациональное уплотнение грунта в фундаментных рвах достигается путем втрамбовывания в него щебня.

*Уплотнение грунтов основания «забивкой свай частоколом»* (рис. 4). Для этого использовались сваи диаметром от 4 до 6 вершков (18...27 см) в тонком конце, длиной от 2 до 4 сажени (4,3...8,5 м), которые забивались на расстоянии 1–2 диаметров друг от друга. При этом допускаемая нагрузка на уплотненное основание составляла 12...20 пудов на 1 дм<sup>2</sup> (1,9...3,2 кг/см<sup>2</sup>) [2].

Характерным примером забивки дубовых свай частоколом в основание является фундамент Успенского собора в Рязани (см. рис. 6). Деформации собора возникли в конце XX в., в том числе из-за гниения оголовков свай, что потребовало проведения работ по усилению фундаментов [4].

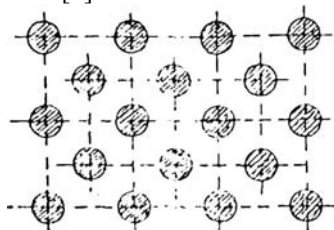


Рис. 4. Пример забивки свай частоколом [2]

*Забивка свай рядами под ростверки.* Расстояние между центрами свай вдоль оси ростверки задавалось 0,4...0,7 сажени, между рядами поперек оси ростверки – 0,35...0,55 сажени. Отмечалось, что «...в слабых грунтах до начала забивки свай по контуру основания следует забить шпунтовые ряды, чтобы предохранить основание от размыва и выпирания грунта в стороны. Заполнение промежутков между сваями должно производиться уплотнением щебня, булыжника или даже бутовой плиты и заливаться цементным раствором» [2].

Деревянные ростверки на сваях применялись, если грунт «сжимаем и расстояние между сваями велико». Ростверк состоял из поперечин и прогонов, вырубаемых из 6–7-вершковых бревен (рис. 5).

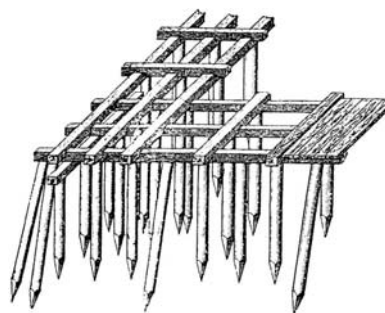


Рис. 5. Пример выполнения деревянного ростверка с помостом из досок по сваям [10]

Сверху прогонов настилался помост из досок. Все пространство до настилки помоста уплотнялось щебнем или песком. В руководстве указывается, что «... ростверки могут быть употреблены только там, если деревянные части всегда будут покрыты водой, почему следует ростверк располагать на глубине не менее 1 фута ниже линии самого нижнего горизонта грунтовых вод».

Устраивались также бетонные ростверки по сваям и бетонные фундаменты с предварительной забивкой по краям фундаментного рва шпунтовых стенок (рис. 7, а). Грунт между сваями откапывался на 0,5...1 фут и в него набивался бетон, образуя ростверк толщиной до 3 футов. Бетон готовился в соотношении: 1 часть портландцемента, 2...3 части песка, 6...8 частей щебня.

Отмечалось, что кирпичный щебень для этих целей не годится, так как он недостаточно выдерживает сырость. Отметим, что при шурфовании такого фундамента сваи выявить весьма сложно (рис. 7, б).

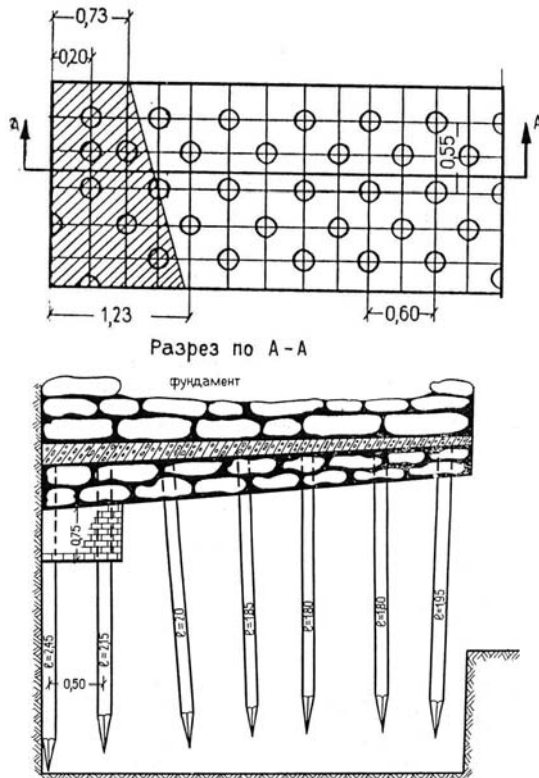


Рис. 6. Фундамент Успенского собора в Рязани [4]

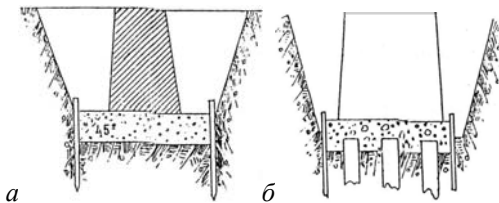


Рис. 7. Пример устройства ростверка с забивкой шпунтовых стенок: а – на естественном основании; б – на деревянных сваях

Лежни в основании использовались только в том случае, если здание возводилось на неравномерно сжимаемом грунте, а его стены выкладывались на цементном растворе. В том же руководстве отмечалось, что деревянные лежни и ростверки (рис. 8) имеют недостаток: «... их устройство служит как бы дренажом почвы под фундаментом и может быть причи-

ной понижения грунтовых вод и размыва грунта под фундаментом» [2].

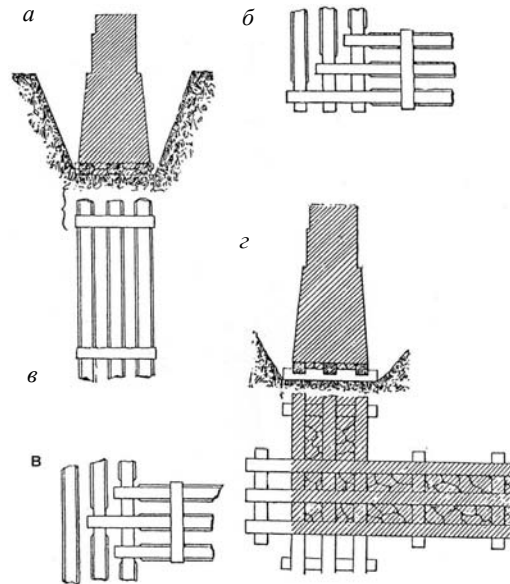


Рис. 8. Примеры устройства ленточных фундаментов [2]: а – на лежнях, б – укладка лежней на углу здания; в – укладка лежней для внутренней стены; г – на деревянном ростверке

## ПРИНЦИПЫ РЕСТАВРАЦИИ И УСИЛЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

П. П. Покрышкин, известный специалист в области реставрации, еще в 1904 г. отмечал, что «...некоторые из памятников архитектуры построены на деревянном фундаменте, т.е. на сваях или свайках или на ростверках или на лежнях или на стульях. Обнаружено это с наибольшей очевидностью при недавних раскопках в Киеве церковью X–XI веков, у церкви Успения Боровской в Архангельске 1752 г., а также в Ферапонтовом монастыре Новгородской губернии в зданиях 1502–1635 гг. Это как раз те случаи, в которых грунт под зданиями совсем не нуждался в подобных деревянных конструкциях...».

Весьма примечательны приводимые ниже рекомендации известного реставратора. «При ремонте фундаментов неизбежно уничтожается старое деревянное и ветхое каменное устройство; поэтому здесь в особенности необходимы фотографические снимки, чертежи, рисунки, обмеры и описания. Вновь выкладываемые подземные части фундамента

должны быть, конечно, исполняемы из материала, не поддающегося действию подземной влаги. Здесь допустим раствор из портландского цемента; этот же раствор допустим для подземных облицовок, которым обеспечена вполне надежная перевязь с основной кладкою; облицовки же без достаточной перевязи с основной кладкой вообще недопустимы, а если неизбежны, то должны быть исполнены на растворе, однородном с раствором основной кладки. Последнее в особенности важно для облицовки цоколей и наземной кладки. Сказанное вызывается примерами многих зданий, в которых облицовка, исполненная на цементном растворе, отстала в виде корки от древней кладки и способствует скоплению влаги за этою коркою... «Каменные здания на деревянных конструкциях под фундаментами более других разрушаются, если гниение дерева идет неравномерно. Но не всегда только в этом заключается причина разрушения»... «Техникам, сообщающим свои заключения о прочности или о ветхости здания, совершенно необходимо иметь в виду, что древние здания сохраняют устойчивость даже при ужасающих на первый взгляд дефектах: противоречия законам статики здесь только кажущиеся. Древнее здание, с окаменевшим известковым раствором в кладке из прочных камней или кирпичей, следует рассматривать, как скульптурное произведение, высеченное из монолита; его своды не производят распора и должны рассматриваться как балки и кронштейны» [5].

П. П. Покрышкин в 1912 г. произвел усиление Борово-Успенской церкви в Архангельске, деформации которой были вызваны гниением деревянных ступьев, заложенных в основании бутового фундамента.

За период эксплуатации в течение 100–250 лет здание обычно претерпевает различные перестройки, в том числе усиления. Это происходит из-за изменения функционального назначения или развития деформаций. При проведении реконструкционных работ по историческим зданиям наличие данных о проведенных ранее строительных работах (включая реконструкцию и усиление фундаментов) позволило бы сэкономить время, средства и предложить оптимальный вариант работ.

В специальной литературе имеются разрозненные данные по усиленным старинным зданиям Петербурга. Тем не менее данные о применявшихся в прошлом методах усиления позволяют оценить надежность и долговечность технологий усиления.

Нас прежде всего интересуют методы усиления фундаментов, в основании которых были выявлены лежни и сваи. Так, при надстройке дореволюционных зданий по Московскому пр., д. 64, 3-й линии Васильевского острова, д. 58 и 4-й Советской ул., д. 38 в 50-е гг. XX в. возникла необходимость усиления фундаментов [3]. Здание на Московском пр., 64 (рис. 9) надстраивалось тремя этажами. Усиление выполнялось путем уширения фундаментов: железобетонное уширение заводилось в фундамент в места расположения крайних лежней. Усиление фундаментов внутренних стен на Васильевском острове также выполнялось путем устройства уширения из бетонных приливов к телу фундамента.

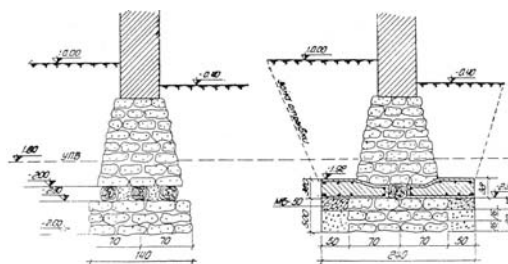


Рис. 9. Усиление фундаментов здания на Московском пр., 64 [3]

Здание по 4-й Советской в рамках капитального ремонта надстраивалось. Лежни и сваи, заложенные в основании здания, сгнили. Проектом предусматривались удаление лежней, подрезка голов свай и устройство нового железобетонного ростверка (рис. 10).

#### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ СТАРИННЫХ ЗДАНИЙ

*Цементационное закрепление.* С конца 80-х гг. XX в. в Санкт-Петербурге стали активно применять инъекционные методы усиления фундаментов, наиболее часто – цементацию. Этот способ, безусловно, более производителен по сравнению с описанными выше и весьма эффективен, однако имеются и



основания фундаментов химическому закреплению предшествовала инъекция цементного раствора с добавкой глины.

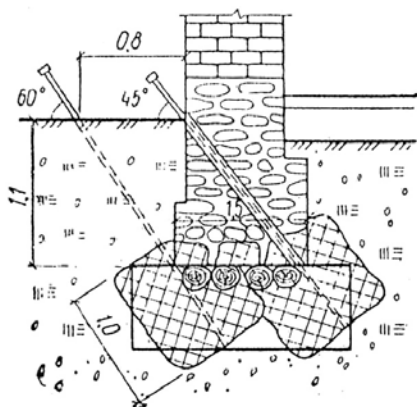


Рис. 12. Консервация деревянных лежней и закрепление грунта [7]

*Пример усиления фундаментов буроинъекционными сваями.* Здание Константиновского дворца в Стрельне построено на естественной возвышенности, уступами спускающейся к Нижнему парку. Естественный склон с северной части дворца конструкциями возведенной террасы превращен в горизонтальную площадку. Ширина террасы составляла от 17 до 23 м. Абсолютная отметка поверхности – 12,7 м БС, при этом вертикальный откос террасы высотой 8,0 м удерживается системой кирпичных конструкций (рис. 14).

С фасада конструкции террасы представляются гротом и лоджиями. Задней стеной грота и лоджий является подпорная стенка, в которой имеется вход в помещения винных погребов с исторической отметкой пола

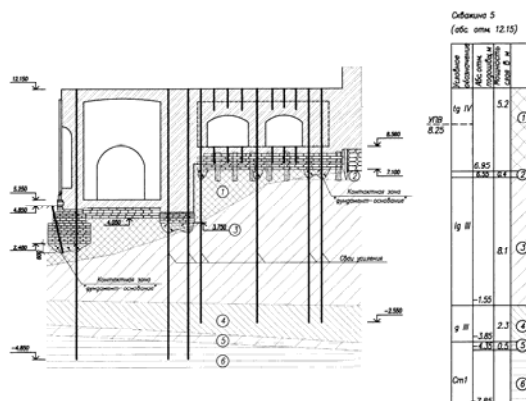


Рис. 14. Терраса Константиновского дворца. Фрагмент проекта усиления

8,7 м БС. В этой зоне минимальная толщина подпорной стены составляла 1,5 м, а в зоне за простенками она увеличивалась до 3,2 м. Лоджии были перекрыты кирпичными цилиндрическими сводами с осью, перпендикулярной линии фасада. Помещения погребов образованы кирпичными стенами, поперечными по отношению к подпорной стенке, прорезанными дверными проемами с арочными перемычками, расположенными соосно. Помещения террасы перекрыты кирпичными цилиндрическими сводами, опирающимися на поперечные стены. В результате проведенного обследования установлено, что конструкции подпорных сооружений дворца имеют существенные деформации. Все поперечные стены террасы были возведены на деревянных сваях  $\varnothing 100...180$  мм, головы которых находились в уровне пола подвала. Вследствие гниения древесины головы практически всех свай были разрушены.

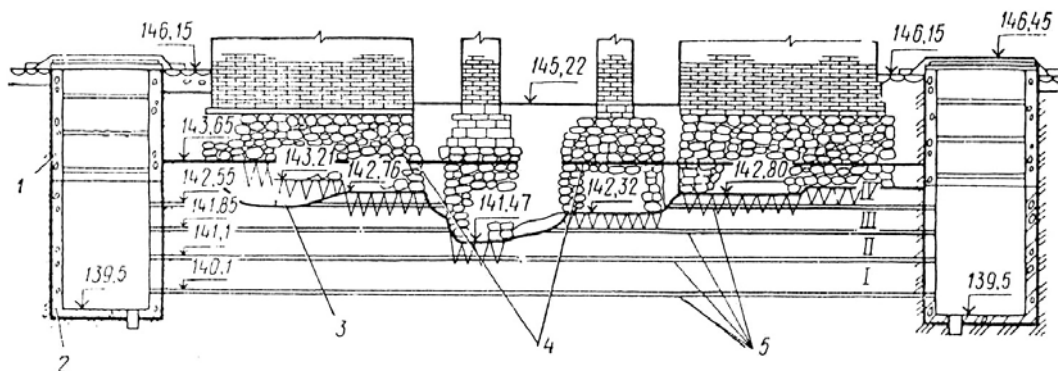


Рис. 13. Усиление фундаментов Успенского собора и церкви Ризоположения в Московском Кремле [7]:

- 1 – бетон; 2 – железобетонный стакан; 3 – цементация культурного слоя и бутовой кладки;
- 4 – цементационные скважины; 5 – инъекционные колонны; I – IV – ярусы инъекторов



Проектом усиления была учтена необходимость обеспечения надежной передачи нагрузок от конструкций террасы на более прочные грунты основания для исключения дополнительных осадочных деформаций и восприятия подпорной конструкцией горизонтального давления грунта.

При этом принимались во внимание следующие обстоятельства:

кирпичная кладка стен, включая фундаменты, находящиеся в грунте, разрушена до состояния дресвяной массы с глинистым заполнителем, известково-песчаный раствор между гранитными валунами фундамента вымыт;

поперечные стены западных и восточных погребов не имеют фундаментов, и кирпичная кладка без каких-либо распределяющих элементов опирается на деревянные сваи.

верхушки деревянных свай практически полностью сгнили на глубину до 1 м от уровня пола.

Единственным вариантом, позволяющим решить стоявшие перед проектировщиками задачи, являлось инъекционное закрепление и армирование кирпичной кладки с пересадкой всего подпорного сооружения на сваи усиления, опирающиеся на малосжимаемые грунты. Инъекция кладки была необходима для восстановления ее сплошности и прочности, армирование – для возможности совместной работы кладки в конструкции; устройство свай усиления – для обеспечения передачи нагрузки на более прочные грунты основания. Окончательно для восприятия вертикальных нагрузок и горизонтального давления на кирпичную кладку подпорных стен был принят вариант устройства вертикальных свай с одновременным армированием кирпичной кладки буроинъекционными сваями. При этом варианте создается каркас в кладке подпорных стен (рис. 15). Диаметр свай был назначен из критерия несущей способности и условия максимальной сохранности существующей конструкции подпорных стен.

Бурение скважин в кирпичной кладке стен и фундаментов осуществлялось с продувкой воздухом или под защитой обсадных труб, скважины в грунте бурились «всухую» (фото №1). По результатам проведенных испытаний на опытной площадке свая  $\varnothing 151$ мм погру-

женная в слой твердой моренной глины на отметку - 4,5м БС может воспринять нагрузку (по грунту) не менее 200 кН.



Рис. 15. Бурение инъекционных скважин в кирпичной кладке стен с помощью установки Tamrock.

Фото 2002 г.

Для создания контактной зоны «подошва стены – грунт основания» в пробуренную скважину под давлением нагнетался цементный раствор с пластифицирующими и противосадочными добавками. Затем скважина выстаивалась для набора прочности закачанного раствора. Заключительным этапом было бурение скважин до проектной отметки и закачивание цементного раствора. В уже готовую скважину погружали трубчатую арматуру, и скважина опрессовывалась через устье. В результате создавалась свая, опирающаяся на твердые кембрийские отложения и армирующая кладку стен на всю высоту. Глубина погружения свай и ее несущая способность были уточнены по результатам испытаний, проведенных институтом «Фундаментпроект» [11].

*Усиление фундаментов старинных зданий струйной технологией.* Представляется, что более надежным и индустриальным способом усиления может быть устройство защиты гниющих деревянных элементов в основании тотальным замыком деревянных конструкций, находящихся в зоне аэрации, с использованием струйной технологии. Подобные работы выполнены в Вене [8, 9] при реконструкции и усилении исторического здания (рис. 15). Окружающий грунт перемешивался высоконапорной струей цементного раствора, обра-



зую вокруг гниющих лежней и свай конструкции с заранее известными свойствами.

При усилении здания в г. Тедингаухаузене, построенного более 300 лет назад, вопрос консервации лежней и свай был решен более радикально: фундаменты наружных стен были пересажены на струйные сваи (рис. 16). Подобное решение было реализовано при усилении фундаментов на деревянных сваях Петровского пассажа в Москве.

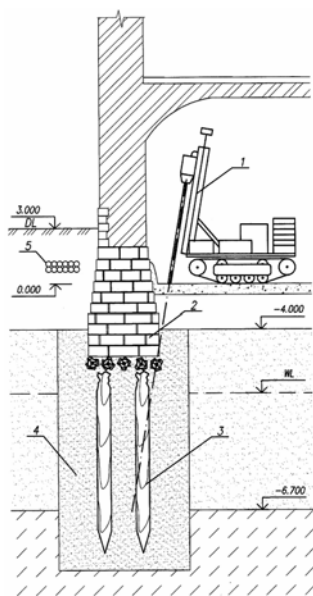


Рис. 16. Усиление фундаментов исторического здания в Вене по струйной технологии: 1 – буровой станок; 2 – бутовый фундамент; 3 – деревянные сваи; 4 – закрепленный грунт; 5 – инженерные сети

Наличие коммуникаций, проложенных в непосредственной близости от фундаментов старинных зданий в центре города, ограниченная высота подвалов сдерживают широкое применение данного способа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выбор способа усиления фундаментов должен назначаться специалистами геотехниками на основе достоверных данных обследо-

вания с учетом современного развития техники и геотехнологий. На основании анализа положительного опыта [5, 6, 7, 8, 9] в условиях исторических городов, кроме закрепления основания по струйной технологии и пересаживания фундаментов зданий на корневидные сваи, может быть рассмотрен вариант усиления оснований старинных зданий, включающий силикатизацию грунтов в зоне расположения лежней и оголовков свай в комплексе с инъекцией твердеющих глиноцементных растворов в грунты основания для их обжатия и заполнения пустот.

Непременным условием применения любых современных геотехнологий являются геотехническое сопровождение и ведение пооперационного контроля качества всех работ, проводимых на строительной площадке.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косяков В. А. Постройка храма и переустройство прочих зданий подворья Киево-Печерской Лавры в Санкт-Петербурге. СПб., 1900.
2. Тилинский А. И. Руководство для проектирования и постройки зданий. СПб., 1914. 162 с.
3. Новые способы усиления фундаментов зданий (обмен передовым опытом) Л., 1962.
4. Гендель Э. М. Инженерные работы при реставрации памятников архитектуры. М.: Стройиздат, 1980.
5. Покрышкин П. П. Краткие советы по вопросам ремонта памятников старины и искусства. СПб., 1904.
6. Соколов В. Е. Химическое закрепление грунтов. М.: Стройиздат, 1980.
7. Ржаницын Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. М.: Стройиздат, 1986. 264 с.
8. Улицкий В. М., Шашкин А. Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. М.: Издательство «АСВ», 1999. 325 с.
9. Егоров А. И. Усиление фундаментов существующих зданий и сооружений. ВНИИТПИ. М. 1992.
10. Курдюмов В. И. Краткий курс оснований и фундаментов. СПб., тип. Ю.Н. Эрлих, 1902.