

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ

С. Г. БОГОВ – ведущий специалист НПО «Геореконструкция-Фундамент-проект», г. Санкт-Петербург. Основные направления научной деятельности – разработка и адаптация геотехнологий, контроль качества геотехнических работ. Автор более 20 опубликованных работ, 4 патентов.

Рассмотрены варианты усиления фундаментов и грунтов основания существующих зданий. Приводятся примеры усиления фундаментов как деформированных, так и реконструируемых зданий.

ВВЕДЕНИЕ

Реконструкция старых зданий и инженерных сооружений, а также застройка новых высотных зданий с сохранением и обеспечением эксплуатационной пригодности существующих в таких городах Северо-Запада, как Санкт-Петербург, Архангельск, является одним из важных вопросов современного строительства. Особенностью этих городов является то, что здания построены в условиях водонасыщенных пылевато-глинистых и заторфованных грунтов.

Деформации надземных конструкций старых зданий, как правило, связаны с различными видами техногенных воздействий: изменением уровня подземных вод, вибрационными воздействиями на грунты основания и конструкции здания, а также строительными работами, проводимыми в непосредственной близости от зданий. Деформации могут развиваться и из-за физического износа конструкций фундаментов, гниения деревянных элементов в основании (лежней, свай) и техногенного ухудшения свойств подземных вод и грунтов. В свою очередь, необходимость усиления фундаментов зданий при их реконструкции может быть вызвана рядом причин: увеличением нагрузок при их надстройке, углублении подвалов; деформациями из-за пристройки к ним новых более тяжелых зданий; прокладкой

или ремонтом в непосредственной близости подземных коммуникаций, в том числе проходкой коллекторов или тоннелей метрополитена.

Изучение способов и приемов возведения фундаментов старых зданий, а также традиционных методов усиления позволит принять решение по реконструкции фундаментов того или иного здания. Большинство зданий исторической застройки Санкт-Петербурга возведены на известняковых бутовых ленточных фундаментах, на песчаном и супесчаном основании. Для увеличения несущей способности оснований старых зданий в условиях слабых грунтов подрядчики традиционно применяли различные способы искусственного укрепления оснований: уплотнение грунта путем втрамбовывания в него щебня, забивку деревянных свай частоколом или рядами под ростверки; применялась также замена слабого грунта слоями песка или бетона [1]. Если при постройке здания в основании встречались слабые грунты, включая торф, то под фундамент из бутовой кладки подрядчик мог уложить деревянные лежни, забить короткие деревянные сваи для армирования грунта или длинные сваи [2].

Очевидно, что методы усиления фундаментов здания (рис. 1) должны быть предложены только после всестороннего технического обследования конструкций всего здания, выявления геологических и гидрогеологических условий площадки, определения причин и

формы деформаций, выявления факторов, снижающих способность фундаментов и грунтов основания воспринимать нагрузки. В отдельных случаях достаточным решением по усилению фундаментов деформированных зданий может быть улучшение свойств грунтов основания под подошвой и восстановление сплошности бутовой кладки фундаментов. Работы по усилению конструкций здания, деформированных в результате гниения деревянных элементов в основании фундаментов, более сложны и должны включать, кроме укрепления тела фундамента и контактной зоны «фундамент–грунт основания», консервацию зоны гниения деревянных лежней и свай. До начала 90-х гг. XX в. и широкого использования при реконструкции фундаментов буровой техники при необходимости применяли усиление фундаментов старых зданий путем взятия в обойму фундаментов и грунтов основания, углублением и подводкой новых фундаментов. В условиях высокого уровня подземных вод и наличия слабых грунтов, подстилающих пылеватые грунты основания, применение традици-

онных методов усиления трудоемко, продолжительно по времени и малоэффективно. Откопка грунта ниже подошвы фундаментов для большинства зданий, расположенных в историческом центре города, опасна и сопряжена с развитием суффозионных процессов и локальных выпоров. Имеются примеры успешного усиления фундаментов традиционными методами при реконструкции дореволюционных зданий Санкт-Петербурга в 40–60-е гг. [2, 5]. Эти, передовые для своего времени, технологии позволили сохранить и модернизировать здания.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

Появление в арсенале строителей буровой геологоразведочной техники позволило широко применять инъекционное укрепление цементами тела фундаментов зданий, а также разуплотненных песчаных грунтов основания и заполнение суффозионных пустот и полосей под подошвами деформированных фундаментов (рис. 2).

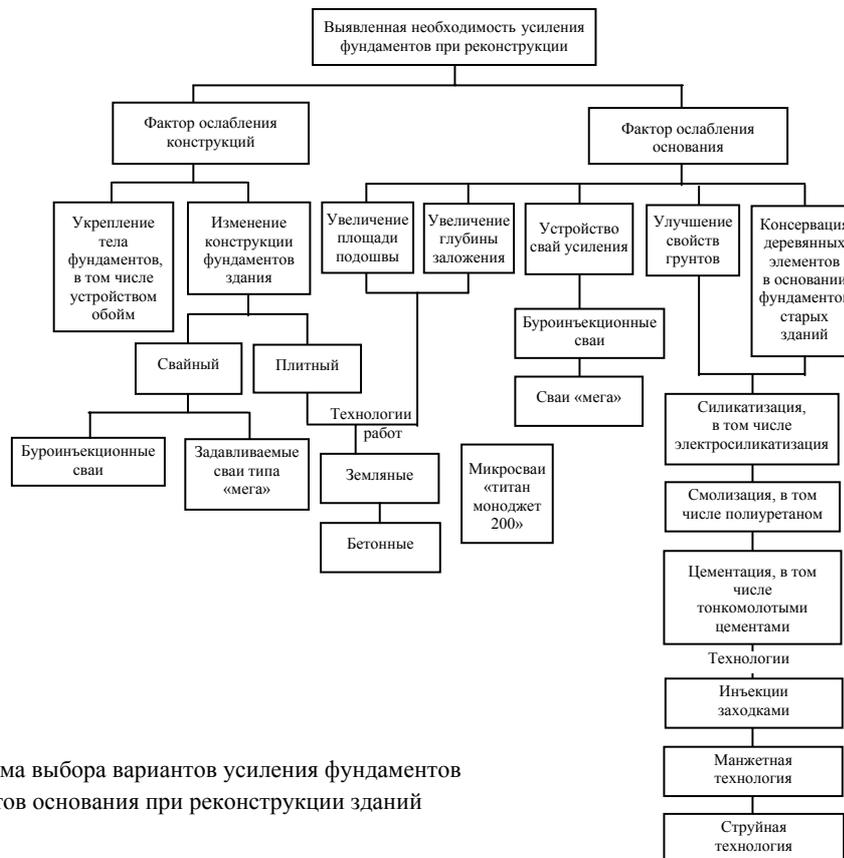


Рис. 1. Схема выбора вариантов усиления фундаментов и грунтов основания при реконструкции зданий

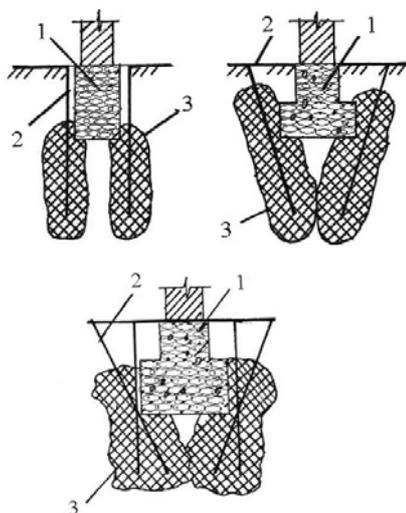


Рис. 2. Принципиальные схемы усиления оснований фундаментов инъекционными методами:
1 – фундамент; 2 – ось манжетной колонны;
3 – зона закрепляемого грунта

Хороших результатов по закреплению грунтов удается достичь при использовании манжетной технологии, когда через погруженные в грунт трубы в заданные интервалы производится регулируемая подача закрепляющих растворов. С учетом практического опыта закрепления разнородных (в большей степени крупных) песков цементами перспективным представляется использование активированных цементных растворов, в том числе на основе диспергированных цементов, аналогичных немецким материалам «микродур» (рис. 3), взамен традиционно применяемых портландцементов М400.

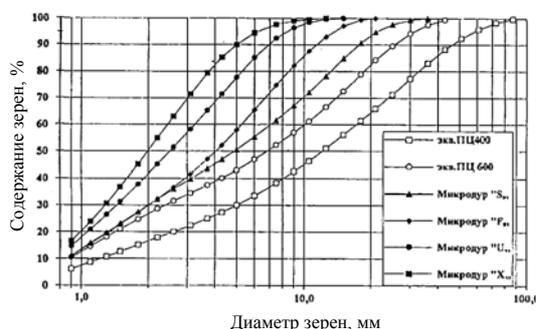


Рис. 3. Сравнительный график зернового состава цемента «микродур» с традиционными портландцементами [8]

Технологии одно- и двухрастворной силикатизации песков, а также электрохимическое закрепление водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов, широко применявшееся в 1960–70-е гг. в Ленинграде [5], с учетом возможностей современного инъекционного оборудования вновь успешно используются при проведении реконструкционных работ. Использование манжетной технологии для закрепления грунтов позволяет более надежно выполнять работы по усилению оснований как фундаментов мелкого заложения, так и свайных. Применение в манжетной технологии толстостенных металлических труб вместо оставляемых в грунте полиэтиленовых используется для армирования и восприятия улучшенным основанием значительных нагрузок.

БУРОИНЪЕКЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ

Впервые буроинъекционные (корневидные) сваи усиления были применены в Италии F. Lizzi более 50 лет назад для усиления деформированных фундаментов школы Пьяццо Тагано в Неаполе. В Санкт-Петербурге усиление деформированных зданий для восприятия дефицита несущей способности бутовых фундаментов буроинъекционными сваями диаметром 0,132–0,151 м, длиной до 20 м по «козловой» схеме стало использоваться с конца 80-х гг. XX в. Буроинъекционные сваи широко применялись для усиления старых бутовых фундаментов, в основании которых расположены лежни, для исключения этих деревянных элементов из работы из-за их гниения, с передачей нагрузки от фундамента на более прочные грунты [5]. Этим методом в Санкт-Петербурге усилены многие сотни зданий, фундаменты которых имели низкую несущую способность. К недостаткам данного способа следует отнести вероятность дополнительной «технологической» осадки, сложность контроля качества выполненных стволов свай, в долговременном плане их низкую антикоррозионную стойкость, невысокую надежность закрепления «голов» свай в теле слабого фундамента, который при развитии деформаций будет работать как неармированный ростверк.

Необходимо отметить, что метод устройства железобетонных свай усиления с помощью пневмопробойников и метод задавливания секционных свай типа «мега» или «пресс-свай» фирмы «Франки» для усиления фундаментов в грунтовых условиях Санкт-Петербурга пока не получили широкого применения. При работе пневмопробойники зачастую давали повышенный динамический фон, а также тонули в слоях тиксотропных водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов.

В арсенале геотехников появляются современные технологии усиления фундаментов [6], сочетающие высокую степень механизации работ, производительность, отсутствие негативных влияний на конструкции усиливаемого здания в ходе работ при обеспечении требуемого качества. Высокая производительность при проходке грунтов и заложенное в систему анкеров и микросвай «титан» (рис. 4, а) качество выполняемых работ в сложных случаях и труднодоступных участках позволяет рекомендовать их при армировании грунтов оснований и усилении фундаментов. Известно, что основным элементом микросвай «титан» являются проходные буровые штанги, наращивание которых осуществляется с помощью специальных муфтовых соединений, а головная штанга оснащена специальным породоразрушающим долотом. Данная технология предусматривает использование буровых штанг в качестве инъектора и армирующего элемента микросвай.

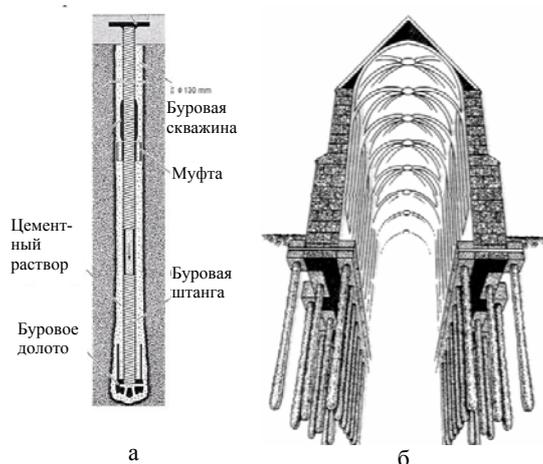


Рис. 4. Общая схема микросвай «титан» (а) и принципиальная схема усиления фундаментов микросваями «титан» (б) [10]

Разновидностью микросвай «титан» является технология «моноджет 200», использующая практически ту же оснастку. В качестве промывочного и заполняющего растворов в этой технологии применяются цементные растворы под давлением до 30 МПа, подаваемые насосами высокого давления через специальные сопла, устанавливаемые на породоразрушающем инструменте. В отдельных случаях технология «моноджет 200» может оказаться альтернативной струйной цементации грунтов.



Рис. 5. Освоение подземного пространства под существующим зданием [10]

При необходимости прокладки глубоких коммуникаций значительных размеров безусловный интерес представляет возможность осуществления проходки в грунтах с помощью микросвай «титан» (рис. 6). При этом скважины выполняются в горизонтальном либо слабонаклонном к горизонту направлении. Безусловно, при проходке в водонасыщенных слабых грунтах необходимо устраивать непроницаемые забой и днище.

ЗАЩИТА ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ОТ ГНИЕНИЯ

Деформации наземных конструкций здания, связанные с гниением древесины в основании фундаментов, возникают при наличии доступа к ним влажного воздуха, положительной температуре и заражении спорами грибов. Как правило, гниение деревянных элементов, заложенных в основании фундаментов (лежни или сваи), при строительстве связано с понижением уровня подземных вод из-за

возведения соседних зданий и заглубленных сооружений. Имеются, однако, данные, что в условиях повышения агрессивности подземных вод из-за протечек инженерных коммуникаций и иных техногенных факторов прочность древесины в основании фундаментов может снижаться даже при расположении ниже зоны аэрации или под водой. Это связано с так называемым биологическим разрушением. Усиление фундаментов путем цементации их тела и «контактной зоны» может оказаться недостаточным. Более того, цементация, выполненная без надлежащего обследования и контроля за производством работ может привести к тампонированию каналов и порудов, размещенных в фундаменте при постройке, нарушению исторической гидроизоляции, отрыву внутренней кирпичной облицовки стен подвалов (рис. 7).

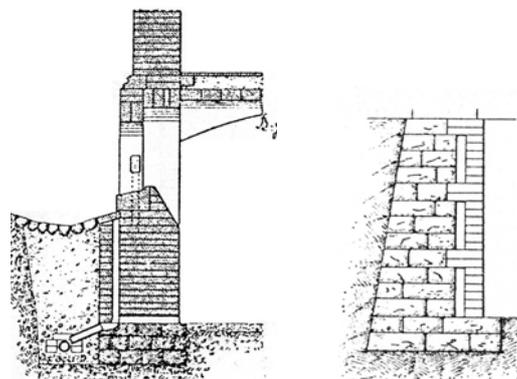


Рис. 7. Варианты устройства фундаментов старинных зданий [11]

Для консервации имеющейся в грунтах органики рекомендуется [3] проведение однорастворной силикатизации с применением кремнефтористосиликатной рецептуры. При взаимодействии раствора жидкого стекла с кремнефтористо-водородной кислотой (H_2SiF_6) в грунтах выделяется фтористый натрий, который является эффективным антисептиком. Эта методика была успешно применена для закрепления гумусированных насыпных грунтов основания под фундаментами здания Набатной башни и здания Арсенала в Московском Кремле более 15 лет назад [9]. После окончания инъекционных работ был проведен контроль качества их выполнения путем отбора кернов из скважин и вскрытия контрольных шурфов глубиной до 12–15 м. Установлено, что прочность насыпного гумусированного грунта, закрепленного с применением кремнефтористосиликатной рецептуры, варьировала от 3 до 25 кг/см².

Творческим было решение отечественных геотехников по усилению фундаментов Успенского собора и церкви Ризоположения в Московском Кремле. Неравномерные деформации здания были вызваны гниением коротких деревянных свай, забитых в основание 500 лет назад. Работы по закреплению были проведены из специально выполненных колодцев [4], из которых были вдавлены горизонтальные инъекторы (трубы), оборудованные манжетными устройствами. Для восстановления сплошности основания фундаментов до химической консервации выполняли инъекцию цементного раствора с добавкой бентонитовых глин.

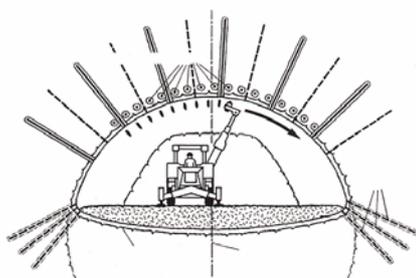
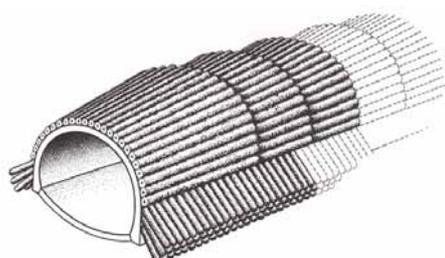


Рис. 6. Схемы варианта проходки с помощью микросвай «моноджет 200» и анкеров «титан» [10]

Примером успешного с технической точки зрения усиления фундаментов здания с деревянными элементами в основании в условиях Санкт-Петербурга является предотвращение деформаций конструкций Московского вокзала. Для усиления основания в середине XX в. были проведены антисептическая обработка лежней раствором фтористого натрия с последующей их консервацией, а также закрепление песков средней крупности, залегающих в основании, карбамидными смолами. В [4] указывается, что после проведения работ деформации конструкций затухли. Контроль качества работ показал, что предел прочности при сжатии образцов закрепленных песков составил 0,8...1,5 МПа. Усиление грунтов оснований с использованием карбамидных смол было применено и при усилении фундаментов Мариинского театра.

Современные требования к экологии и развитие химии полимеров позволяют применять полимерные инъекционные смолы в виде одно- или двухкомпонентных составов для решения различных реконструкционных задач, в том числе в комплексе с микросваями «титан». Полиуретановые полимеры, а также полиакрилаты способны обеспечить высокие механические характеристики закрепляемого песчаного грунта (до 90 кг/см²). Полиуретановые полимеры за счет своей способности проникать в грунт и увеличиваться в объеме в десятки раз закрепляют грунт, образуя твердый и прочный композитный материал. Такой материал после завершения гелеобразования гидрофобен и устойчив к воздействию агрессивных сред. Однако высокая цена импортных материалов сдерживает их широкое применение, поэтому более перспективны отечественные аналоги.

УСИЛЕНИЕ ОСНОВАНИЙ ЗДАНИЙ ПО СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Решить сложные геотехнические задачи по пристройке новых тяжелых зданий с развитым подземным пространством к существующим зданиям можно, используя струйную технологию (рис. 8) [6, 7, 10]. Применение струйной технологии позволяет сооружать надежные и, что важнее, новые конструкции безопасно и произвести усиление фундамен-

тов при максимальной сохранности сооружения.

Струйная технология может стать надежным и индустриальным способом усиления фундаментов путем консервации гниющих деревянных элементов в основании зданий. При этом возможны два варианта: тотальный замыв деревянных конструкций, находящихся в зоне аэрации, с помощью струйной технологии и выполнение локальных усилений. Грунты под фундаментами перемешиваются высоконапорными струями цементного раствора, образующими вокруг гниющих лежней и свай конструктивный материал с заданными прочностными свойствами. Инженерные коммуникации, проложенные у фундаментов зданий в центре города, а также ограниченная высота подвалов несколько сдерживают применение данного способа. Подобные работы выполнены при реконструкции и усилении одного из исторических зданий в Вене [6].

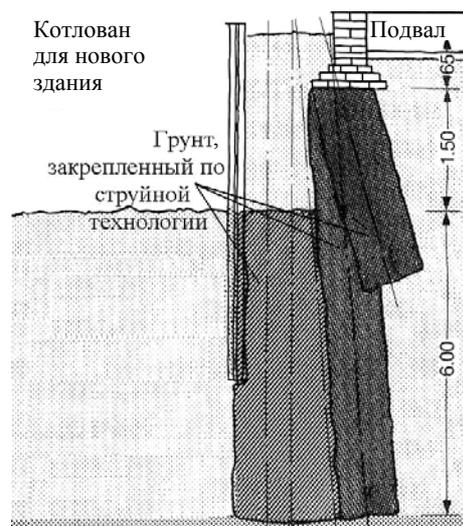


Рис. 8. Закрепление грунтов основания здания по струйной технологии [7]

При усилении фундаментов деформированного здания вопрос консервации деревянных элементов может быть решен и более радикально: фундаменты наружных и внутренних стен пересекаются на струйные сваи большого диаметра (0,6...1,0 м). Подобное решение было реализовано в Москве при усилении фундаментов Петровского пассажа, возведенного на деревянных сваях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При реконструкции надземных конструкций зданий требуется надежное усиление фундаментов. При пристройке соседних зданий к существующим также может потребоваться проведение работ по усилению их фундаментов и грунтов основания. Освоение подземного пространства в застроенных районах (рис. 9), устройство ограждений глубоких котлованов представляет угрозу для существующих зданий. Возможно образование дефектов (рис. 10), через которые могут произойти понижение уровня подземных вод и локальный вынос водонасыщенных грунтов из-под фундаментов существующих зданий.



Рис. 9. Освоение подземного пространства непосредственно у существующих зданий [10]



Рис. 10. Ограждение котлована «стеной в грунте» из тангенциальных буронабивных свай. Дефекты стволов свай

Возможным способом усиления фундаментов с деревянными элементами в основа-

нии (кроме пересаживания фундаментов на длинные буроинъекционные сваи и закрепления основания по струйной технологии) является вариант, включающий силикатизацию грунтов по кремнефтористо-водородной рецептуре в зоне расположения лежней и оголовков свай и инъекцию твердеющих глиноцементных растворов в грунты основания для обжаривания и заполнения пустот. Эффективным методом укрепления грунтов основания может быть их армирование с использованием микросвай «титан моноджет 200» в комплексе с инъекционным укреплением бутовой кладки фундаментов и наземных конструкций.

Условиями надежного и успешного применения методов усиления на объектах, а также внедрения современных геотехнологий являются: превентивное моделирование, в том числе программное, проектируемых процессов реконструкции, а также отработка щадящих режимов и параметров на опытных площадках в схожих инженерно-геологических условиях.

Список литературы

1. *Тилинский А. И.* Руководство для проектирования и постройки зданий. СПб., 1914.
2. *Новые* способы усиления фундаментов зданий (обмен передовым опытом). Л., 1962.
3. *Соколович В. Е.* Химическое закрепление грунтов. М.: Стройиздат, 1980.
4. *Ржаницын Б. А.* Химическое закрепление грунтов в строительстве. М.: Стройиздат, 1986. 264 с.
5. *Улицкий В. М., Шашкин А. Г.* Геотехническое сопровождение реконструкции городов. М.: Изд-во «АСВ», 1999.
6. *Егоров А. И.* Усиление фундаментов существующих зданий и сооружений. М.: ВНИИТПИ. 1992.
7. *Рекламные материалы* фирмы «GKN Keller» 1992.
8. *Рекламные материалы* фирмы «Дукерхоф». 1995.
9. *Ибрагимов М. Н.* Укрепление фундаментов и грунтов основания исторических архитектурных памятников в Московском Кремле // Тр. НИИСП. М., 2001.
10. *Рекламные материалы* фирмы «Ишебек».
11. *Кирнтейн Г.* Строительное искусство: Руководство к возведению фабричных, гражданских и сельских строений. Рига, 1915.