

ГЕОТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

ПРИЧИНЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К НЕОБХОДИМОСТИ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Как показал опыт обследования многочисленных построек Санкт-Петербурга, многие фундаменты зданий дореволюционной эпохи первоначально испытывали перегрузку, что привело к развитию осадок основания и возникновению трещин в несущих надземных конструкциях. Часто требуют усиления основания и фундаменты зданий и более позднего периода.

Основными причинами, приводящими к необходимости усиления оснований и фундаментов, являются следующие факторы:

- разрушение материала фундаментов и протирокапиллярной гидроизоляции;
- нарушение устойчивости оснований в процессе эксплуатации сооружения;
- реконструкция здания, включающая увеличение нагрузки на фундаменты и углубление подвалов;
- развитие значительных дополнительных деформаций основания зданий.

Анализируя данные многочисленных обследований, выполненных в СПб ГАСУ и других организациях города, можно конкретизировать наиболее часто встречающиеся причины деформаций зданий Санкт-Петербурга, расположив их по степени значимости:

- строительство рядом со старыми зданиями новых, соразмерных с существующими;

• устройство заглубленных сооружений (гаражей, переходов);

• промерзание и оттаивание грунтов в основании и пр.;

• нарушение структуры грунтов при откачке воды из подвалов, утечке их в коллекторы с выносом тонкодисперсных частиц (механическая суффозия);

• динамические воздействия от транспорта, промышленной сейсмике (забивка свай, погружения шпунтов и т. п.);

• понижение горизонта подземных вод в центральной части города в связи со строительством метро и прокладкой инженерных сетей глубокого заложения, что ведет к гниению деревянных лежней и свай;

• неравномерное уплотнение слабых, заторфованных либо насыпных грунтов вследствие локального обводнения основания техногенными водами, изменяющими химический состав и температуру грунтовых вод и вызывающими гниение деревянных лежней и свай;

• аварии на инженерных сетях и подвалах здания с выносом грунта в канализационную сеть (глубокие коллекторы).

Традиционные методы усиления оснований и фундаментов зданий, чаще других применяемые в Санкт-Петербурге (Ленинграде) до 1990-х гг.

Современные методы расчета дают возможность смоделировать на основе геотехнической информации конкурентоспособные варианты технологии усиления оснований и фундаментов. Без должного расчетного обоснования нельзя отказываться от традиционных технологий. В комплексе с новыми современными технологиями они часто дают положительный эффект.

В дореволюционном Петербурге и далее в Ленинграде все традиционные технологии усиления оснований и фундаментов сводились, в основном, к увеличению площади опирания существующих фундаментов и, соответственно, снижению интенсивности давления на грунты основания (рис. 1).

Опирание прикладок выполнялось на различном уровне. Многочисленные обследования показали, что очень часто прикладки оставались в насыпном грунте и фактически не оказывали существенного влияния на условия дальнейшей эксплуатации зданий. Они включались в работу лишь при больших деформациях после соответствующего уплотнения грунтов в основании уширенной части.

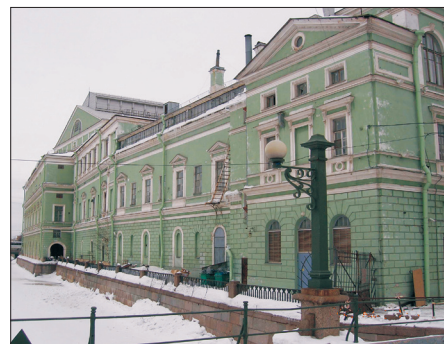


Фото 1. Общий вид стены театра со стороны Крюкова канала

С 30-х гг. 20-го столетия в Москве и Ленинграде активно разрабатывались и использовались технологические приемы, связанные с искусственным улучшением свойств грунтов в основании путем введения различных химических реагентов.

К достоинствам химических способов относятся: высокая степень механизации всех операций, возможность упрочнения грунтов до заданных проектом параметров в их естественном залегании, сравнительно малая трудоемкость, резкое сокращение ручного неквалифицированного труда при откопке траншей, а также сравнительно невысокая стоимость исходных материалов (возможность использования отходов производства).

В 1959 – 60 гг. для предотвращения аварийных осадок несущих стен сценической части здания театра им. С. М. Кирова (Мариинского театра) со стороны Крюкова канала было выполнено химическое закрепление грунтов в основании ленточных фундаментов (фото 1).

Осадки продольной стены здания были вызваны деформацией основания от динамических воздействий при погружении шпунта в процессе устройства ограждения и набережной Крюкова канала. Закреплению подлежал пылеватый песок с коэффициентом фильтрации $k_f = 0,5 - 1,5$ м/сут. и пористостью $n = 0,44$. Толща песков достигала 3 – 4,5 м ниже подошвы бутовых ленточных фундаментов. Закрепление производили по традиционной схеме с использованием карбамидной смолы плотностью $1,076 - 1,08$ г/см³ и 3%-го р-ра соляной кислоты.

В грунт нагнетали раствор соляной кислоты (400 л), затем 50 л воды и после этого раствор смолы (400 л). Нагнетание производилось плунжерными насосами при давлении 0,3 МПа. Объем одной заходки, приходящейся на 1 инъектор, составил 0,6 – 0,7 куб. м раствора.

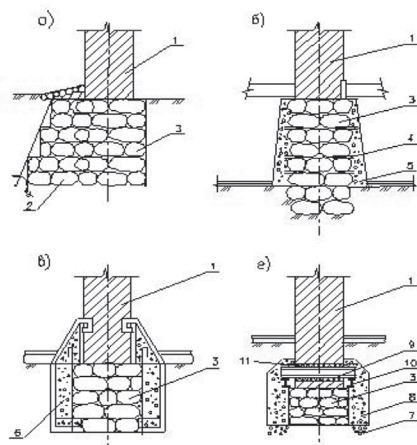


Рис. 1. Традиционные технологии усиления фундаментов:

- а) — прикладкой в перевязку; б), г) — бетонными обоймами; в) — железобетонными обоймами; 1 — стена, 2 — новая кладка в перевязку со старой, 3 — старая кладка, 4 — металлические штыри, 5 — бетонная обойма, 6 — железобетонная обойма, 7 — щебеночная подготовка, 8 — бетонные банкетки, 9 — рабочая балка, 10 — распределительная балка, 11 — литой бетон



Фото 2. Общий вид здания Московского вокзала со стороны площади Восстания

Весьма успешным для того времени оказался опыт усиления бутобетонных фундаментов с лежнями (Московский вокзал, Ленинград, фото 2). Обработка лежней проводилась раствором фтористого натрия с последующей их консервацией. Закрепление песков, являющихся несущим слоем фундаментов, выполнялось раствором карбамидных смол.

В результате прочность закрепленных песков составила 0,8—1,5 МПа, и после проведения этих работ деформации конструкций затухли.

В 2000 г. в связи с устройством котлована под здания вокзала ВСМ (Высокоскоростной магистрали Москва — Санкт-Петербург) несущие конструкции Московского вокзала получили дополнительные деформации. После тщательного обследования было принято решение усилить фун-

даменты сооружения буроналивными сваями, доведенными до мореных отложений. Длина свай была принята размером 8,5 м.

В связи с усиленным вниманием к охране окружающей среды в настоящее время более строго подходят ко всем химическим реагентам, вводимым в грунт, и закрепление смолами не применяется. Кислоты и щелочи высокой концентрации тоже оказывают вредное воздействие на окружающий незакрепленный грунт и подземные грунтовые воды. В практике строительства в Ленинграде (и Санкт-Петербурге в дальнейшем) эти вещества почти не использовались.

В 1960—70-х гг. были довольно популярными методы односторонней и двухсторонней силикатизации. Б. А. Ржаницин в 1986 г. для глинистых грунтов предложил метод электросиликатизации, при котором напряжение от источника постоянного тока подается на иньекторы одновременно с нагнетанием в слабофильтрующие грунты односторонней гелеобразующей смеси на основе силиката натрия. При этом расход электроэнергии составлял обычно до 30 кВт на 1 куб. м закрепляемого грунта. Расход растворов был такой же, как при обычной силикатизации, и в 2,5 раза больше, чем при односторонней.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Последние 20 лет новые технологии усиления оснований и фундаментов сооружений широко развиваются в Германии, Англии, Франции, Италии, Швеции, Финляндии. Ведущие фирмы этих стран специали-

зируются не только на работах по усилению оснований и фундаментов, но и создают новые технологии, продают разработанное оборудование.

Иньекционные методы. С начала 90-х гг. многие отечественные геотехнические компании с успехом стали применять эти технологии, приспособив их к местным условиям Санкт-Петербурга. В первую очередь это касается инъекционного укрепления тела старых бутовых фундаментов, закрепления разуплотненных песчаных грунтов основания и заполнения суффозионных пустот под подошвами фундаментов (рис. 2, фото 3).

Если реконструкция здания происходит без увеличения нагрузок на фундаменты, то обычно в этом случае выполняют цементацию грунтов в основании фундаментов, а также укрепление фундаментной кладки.

К инъекционным методам может относиться и метод армирования грунтового массива, который используется для повышения несущей способности слабых грунтов (рис. 3).

Он основан на управляемом инъецировании под давлением расчетных объемов твердеющих растворов по специально рассчитанной схеме.

В радиусе 1,5—2 м от иньектора раствор заполняет трещины и пустоты, давлением уплотняет рыхлый грунт и формирует в процессе твердения жесткий армирующий каркас с образованием включений цементного камня.

С 1995 г. в Санкт-Петербурге фирма ЗАО «Геострой» успешно использует технологию компенсационного закрепления грунтов, в основе которой — использование манжетной технологии.

В отличие от технологии поступательного последовательного нагнетания закрепляющего раствора, данная технология — это определенный технологический и технический прорыв как в качестве выполнения работ, так и в способности управления процессом компенсационного закрепле-

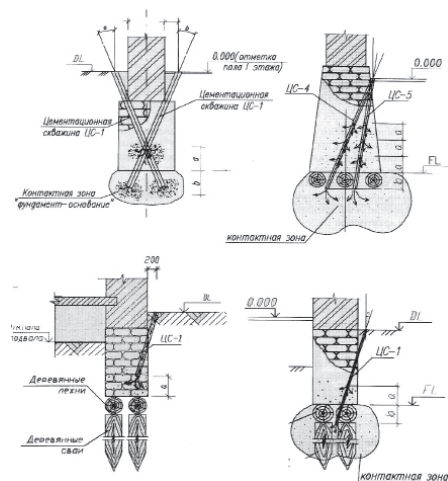


Рис. 2. Схемы основных инъекционных методов усиления оснований и фундаментов



Фото 3. Общий вид инъекционных работ по усилению фундамента и основания с наружи (а) и внутри здания (б)

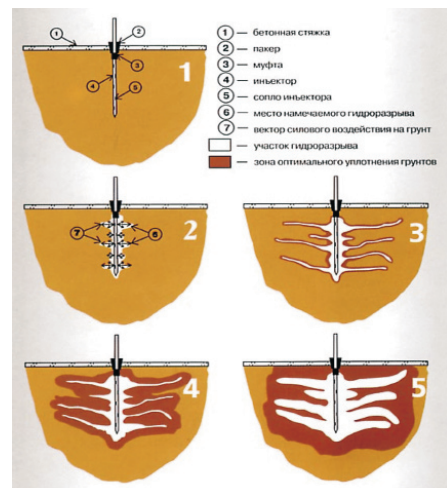


Рис. 3. Схема армирования грунтового массива твердеющими растворами

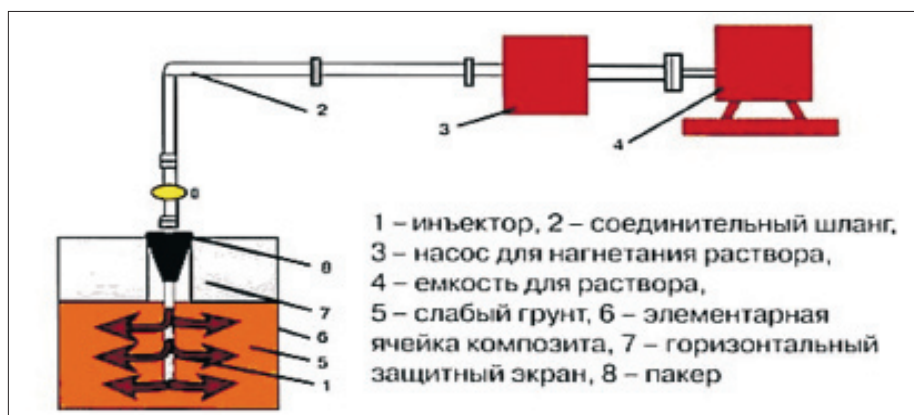


Рис. 4. Технологическая схема усиления массива грунта методом «Геокомполит»

ния грунтов. Она впервые была применена при работах по обеспечению устойчивости зданий, расположенных по Малой Морской улице, в период проведения проходческих работ при строительстве станции метро «Адмиралтейская».

В последующем положительный опыт был получен при закреплении пылеватых песков в процессе устройства основания под трамвайные пути и проезжей частью на Литейном пр. и Заневской пл., а также при

усилении оснований зданий вблизи площадки строительства 2-й сцены Мариинского театра и на других объектах.

В геотехнической практике присутствует метод, разработанный в институте геоэкологии РАН под руководством академика В. И. Осипова, — метод «Геокомполит» (рис. 4). Он может использоваться для улучшения свойств любых сжимаемых дисперсных грунтов как естественного, так и техногенного происхождения, а также в заторфованных грунтах и илах.

Данный метод был применен в 2004 г. при исправлении аварийного наклона для усиления основания 17-этажного здания на плитном фундаменте (в районе Купчино).

После окончания строительства 17-этажного жилого дома на плитном фундаменте отклонение верхней части здания составило 90 см и продолжало увеличиваться (фото 4).

Управляемый выбор грунта из-под части фундаментной плиты и дальнейшая инъ-

екция цементного раствора для закрепления основания позволили в течение 5 месяцев полностью выправить аварийное здание (рис. 5).

Буроинъекционные сваи. В Санкт-Петербурге эта технология стала широко применяться с 1988 г. За более чем 20 лет она зарекомендовала себя как достаточно эффективная и надежная при усилении оснований зданий, получивших значительные деформации, или в случае увеличения нагрузок на фундаменты.

С использованием буроинъекционных свай можно усиливать фундаменты зданий при строительстве вблизи них новых сооружений (фото 5).

Буроинъекционные сваи (микросваи, корневые сваи) — это буровые сваи диаметром до 300 мм, которые выполняются по разным технологиям: в зависимости от конструкции сооружения — наклонным бурением через тело фундамента или около него с дальнейшей передачей нагрузки на них (рис. 6).

После специальных работ по опрессовке у буроинъекционных свай образуется неровная поверхность, за что они получили за рубежом название «корневидных» (рис. 7).

Основные преимуществами применения технологии буроинъекционных свай:

- почти полностью исключаются ручные земляные работы (затраты ручного труда на всех технологических операциях минимальные);
- возможность бурения скважин непосредственно через фундамент, не затрагивая инженерных коммуникаций, находящихся около зданий и в подвалах;
- используя малогабаритное оборудова-



Фото 4. 17-этажное здание, получившее аварийный крен (Купчино, Санкт-Петербург)

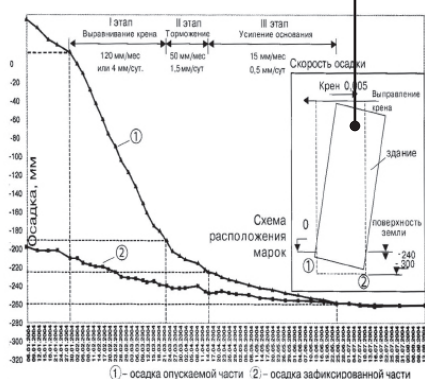


Рис. 5. Графики развития вертикальных деформаций противоположных марок на фундаменте сооружения при выправлении аварийного здания



Фото 5. Самоходный (а) и переносные (б) буровые станки: усиление фундаментов с внешней стороны здания

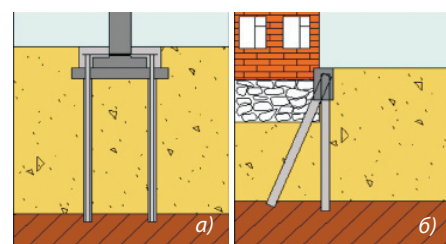


Рис. 6. Схемы усиления фундаментов буроинъекционными сваями: а) усиление ленточных фундаментов здания; б) усиление отдельно стоящего фундамента



Фото 6. Усиление фундамента портика здания цементацией основания и буроинъекционными сваями (Музей истории Санкт-Петербурга)

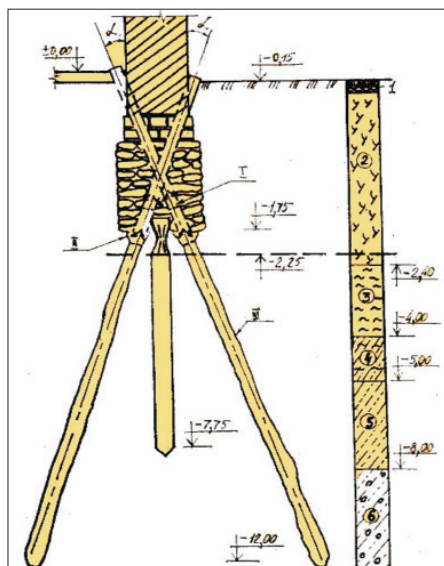


Рис. 7. Схема усиления старого фундамента со сгнившей верхней частью деревянных свай наклонными буроналивными сваями

ние, можно вести работы из подвала высотой 2–2,5 м, а в случае необходимости работы — с первого этажа здания;

- сохраняется внешний вид конструкции (это особенно важно при работе на объектах, которые относятся к памятникам архитектуры);
- возможность проведения работы на действующих предприятиях без остановки производственного процесса;
- экологическая чистота технологических операций (по сравнению с химическими методами закрепления);
- обеспечение необходимой несущей

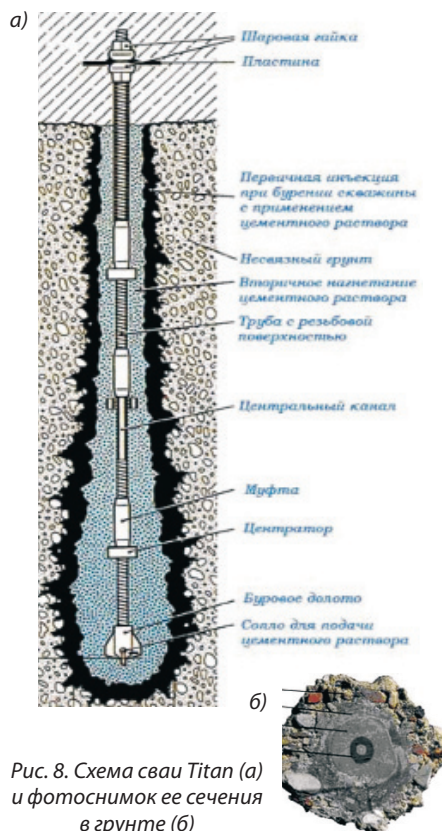


Рис. 8. Схема сваи Titan (а) и фотоснимок ее сечения в грунте (б)

способности старых фундаментов, имеющих под подошвой сгнившие лежни и сваи.

Однако при этом следует отметить и отдельные недостатки технологии буроналивных свай, а именно:

- низкая несущая способность из-за небольшого диаметра и, соответственно, малой боковой поверхности и площади острия;
- сложность надежного закрепления головы сваи в случае разрушения тела кладки фундамента, который в последующем работает как ростерк, и отсутствие соответствующих методов расчета;
- неопределенность в формировании необходимого диаметра при устройстве буроналивных свай в слабых грунтах;
- недостаточная изученность работы тонких и длинных свай как элементов, армирующих толщу слабого грунта;
- невозможность устройства ствола свай из тяжелого бетона (скважину малого диаметра можно заполнить только цементно-песчаными растворами);
- вероятность дополнительной «технологической» осадки фундаментов при производстве работ по их усилению;
- сложность контроля качества выполненных свай.

К буроналивным сваям относятся и самозабуриваемые сваи типа Titan, разработанные в 1990-х гг. в Германии специалистами фирмы ISCHIBECK. Их разновидностью являются сваи Atlant. Сущность технологии устройства свай Titan заключается в совмещении операций бурения и цементации. При этом используются специальные полые буровые штанги, которые по окончании бурения остаются в теле сваи в качестве армирующего элемента (рис. 8).

Диаметр свай Titan составляет 150–

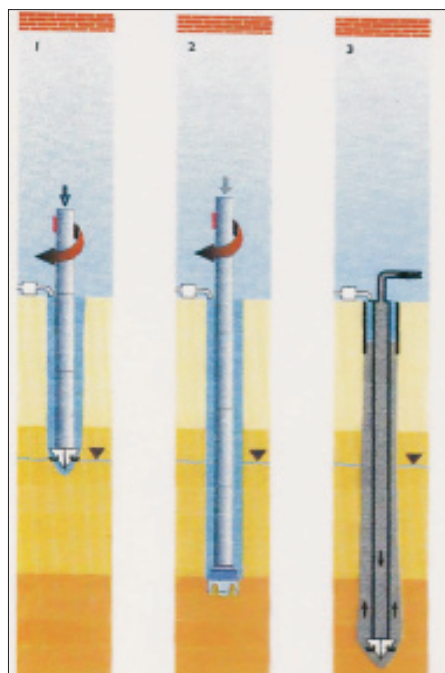


Рис. 9. Технология устройства свай Franki

250 мм. Их несущая способность может достигать 1 500 кН. Устройство буроналивных свай Titan и Atlant можно выполнять из подвалов зданий. В этом случае используются малогабаритные буровые станки.

При устройстве буроналивных свай Franki используют в качестве армирующего каркаса металлическую трубу. Бурение скважины до проектной отметки производится с промывкой раствором. Через отверстия в породоразрушающем долоте скважины заполняются цементным инъекционным раствором (рис. 9). Диаметр таких свай составляет 150–350 мм. С применением технологии свай Franki фирмой ЗАО «Геоизол» были усилены подпорные стенки высотой 8 и 7 м у дворца Александра Меншикова (фото 7) в Ораниенбауме (пригород Санкт-Петербурга).

В случае, когда необходимы сваи более высокой несущей способности, могут применяться буровые сваи MiniJet. В отличие от свай Titan, при их устройстве используется повышенное давление струи цементного раствора (до 30 МПа), подаваемой через специальные сопла на породоразрушающем долоте. Диаметр свай MiniJet составляет 250–400 мм.

Продолжение в следующем номере.

Р. А. МАНГУШЕВ, д. т. н., профессор, зав. кафедрой «Геотехника» СПб ГУ

Литература

1. Коновалов П. А. «Основания и фундаменты реконструируемых зданий». 4-е изд., перераб. и доп. — М.: ВНИИТПИ, 2000 г.
2. Мангушев Р. А., Осокин А. И. «Геотехника Санкт-Петербурга». — СПб, М.: Изд-во АСВ, 2010 г.
3. Полищук А. И. «Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий». — «Нортхэмптон-Томск», 2004 г.
4. Ржаницын Б. А. «Химическое закрепление грунтов в строительстве». — М.: Стройиздат, 1986 г.
5. Справочник проектировщика «Основа-



Фото 7. Усиление подпорных стен сваями Franki (дворец А. Меншикова, г. Ораниенбаум)