

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СВАЙ ВЫПОЛНЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТА

**С.С. РУБЦОВА**, руководитель проектов АО «НЬЮ ГРАУНД»,

**О.А. МАКОВЕЦКИЙ**, канд. техн. наук, зам. генерального директора по науке АО «НЬЮ ГРАУНД», г. Пермь



В статье дается подробное описание метода струйной цементации грунтов, заключающегося в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора или воды с воздушным потоком для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором.

The article provides a detailed description of jet grouting soils method, which consists in using the energy of a high-pressure jet of cement mortar or water with an air flow to destroy and simultaneously mix the soil with cement mortar.

После твердения смеси образуется грунтобетон (при полном замещении грунта – цементный камень) – материал, обладающий определенными прочностными и деформационными характеристиками. Струйная технология включает в себя следующие основные операции:

а) бурение направляющей лидерной скважины без обсадки на глубину, превышающую глубину заложения сваи или завесы на 1 м;

б) размыв в грунте по мере подъема инструмента (монитора) прорези или цилиндрической полости с одновременным смещением грунтового шлама с цементным раствором.

Закрепление грунтов методом струйной цементации в зависимости от грунтовых условий, назначения и требуемой прочности, а также фильтрационных свойств создаваемой грунтоцементной конструкции может производиться по следующим трем технологиям:

а) однокомпонентная технология (Jet1). Разрушение грунта производится струей цементного раствора. Технология наиболее простая в исполнении, достигается наибольшая плотность и прочность грунтобетона. Расход цемента составляет 350...400 кг на метр закрепления. Диаметр грунтобетонных элементов в глинистых грунтах составляет 550...650 мм, в песчаных грунтах – 650...700 мм.

б) двухкомпонентная технология (Jet2). Для увеличения объема закрепляемого грунта используется дополнительно энергия сжатого воздуха, создающего искусственный воздушный поток вокруг струи раствора. Расход цемента составляет 650...800 кг на метр закрепления. Плотность и прочность грунтобетона ниже на 10-15%, чем по технологии (Jet1), диаметр грунтоцементных элементов больше и достигает в глинистых грунтах 1000...1200 мм, в песках 1300 мм;

Метод струйной цементации может применяться в песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых грунтах. Условием применимости струйной технологии является получение требуемых проектом заданных размеров, форм и характеристик материала грунтобетона:

а) прочность на сжатие;

б) однородность;

в) долговечность (для постоянных конструкций).

Метод струйной цементации используется при создании искусственно улучшенных оснований фундаментов, армированных

грунтобетонными элементами; временных и постоянных несущих и ограждающих конструкций из грунтобетонных элементов, выполненных в виде цилиндрических массивов типа свай, противодиффузионных завес в виде конструкций из взаимно пересекающихся грунтобетонных элементов (jet-свай).

### **Устройство грунтоцементных и комбинированных свай**

Грунтобетонные элементы могут быть использованы в качестве свай, устраиваемых на площадке под новые фундаменты. В этом случае они воспринимают осевые вдавливающие и выдергивающие нагрузки, горизонтальные нагрузки и распределяют их на грунтовое основание.

Конструкция представляет собой комбинированную сваю, включающую грунтобетонный столб и размещенный в нем сердечник. Сердечником сваи может быть металлический или железобетонный элемент. Сердечник служит для восприятия воздействий от сооружения и передачи ее через грунтобетонную рубашку на окружающий грунтовый массив.

Сваи устраиваются погружением сердечника по оси свежизготовленного грунтобетонного столба до начала схватывания грунтобетона. Время, за которое необходимо погрузить сердечник, зависит от вида грунта, температуры окружающей среды и должно быть не более 2 ч. Монтаж сердечников в проектное положение производится с помощью крана и центрирующих приспособлений, погружение происходит под действием веса сердечника. Погруженный сердечник необходимо зафиксировать в проектное положение при помощи фиксаторов до схватывания грунтобетона и набора им начальной прочности, не менее чем на 2 сут.

Струйная цементация характеризуется отсутствием разуплотнения на границе окружающего грунта и грунтобетонного столба, наблюдаемого при устройстве буронабивных свай. При струйной геотехнологии вокруг грунтобетонного столба происходит существенное уплотнение грунта, вследствие прессирующего воздействия струи высокого давления. При этом образуется пограничный слой из отвердевшего цементного раствора, который значительно повышает сцепление грунтобетонного столба с грунтом. Вместе с развитой «волнообразной» поверхностью грунтобетонного столба, вышеуказанные причины позволя-

ют при равном диаметре добиться несущей способности по грунту на 25...40% большей, чем у буронабивных свай.

### Статические испытания грунтобетонных свай вдавливающими нагрузками

Для принятия окончательного решения по количеству и параметрам грунтобетонных свай необходимо проведение статических испытаний опытных или рабочих свай в количестве не менее 2% от общего числа свай. Статические испытания грунтобетонных свай выполняются в соответствии с требованиями.

Полевые испытания проводятся для контроля соответствия геотехнической несущей способности свай расчетным нагрузкам. В состав установки для испытания свай статическими вдавливающими и нагрузками входят: гидравлический домкрат с усилием вдавливания не менее 100 т; реактивная балка с анкерными сваями, роль которых играют грунтобетонные сваи; реперная система с прогибомерами. Расстояние от оси испытываемой сваи до анкерных свай не менее 1,5 м. Испытание свай производится не ранее 14 дней после ее устройства, чтобы грунтобетон достиг не менее 80% прочности.

Нагружение испытываемых свай следует производить равномерно, без ударов ступенями более 0,1 максимальной нагрузки. Предельная нагрузка при испытании свай составляет не менее 1,5 значения расчетной нагрузки сваи.

На каждой ступени нагружения сваи необходимо снимать отсчеты по всем приборам в следующей последовательности:

- нулевой отсчет перед нагружением сваи,
- первый отсчет сразу после приложения нагрузки,
- затем последовательно четыре отсчета через каждые 30 мин,
- далее через каждый час до условной стабилизации деформации (скорость осадки сваи на данной ступени нагружения, не превышающая 0,1 мм за последние 60 мин. или при отсутствии значительных перемещений (до 2 мм) в течение одного часа на каждой ступени).

Результаты испытания оформляются в виде графиков зависимости осадки, сваи от нагрузки и изменения деформации во времени по ступеням нагружения.

Несущая способность сваи считается обеспеченной, если ее осадка при проектном уровне нагружения составляет не более 0,2 от предельно допустимой для данного типа сооружения.

### Устройство комбинированных свай под существующими фундаментными конструкциями

Грунтоцементные и комбинированные сваи могут быть выполнены под существующими фундаментными конструкциями для решения следующих задач:

- стабилизация развития недопустимых осадок здания, возникающих в результате ухудшения механических характеристик грунтового основания, как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации;
- увеличение механических характеристик оснований, при увеличении величины действующих нагрузок в ходе реконструкции зданий;
- снижение величины дополнительных осадок существующих зданий, при выполнении в непосредственной близости от них нового строительства.

Для выполнения этих видов работ, как правило, используют технологию струйной цементации Jet-1, поскольку, как показывает опыт проведения таких работ, использование технологии Jet-2 может вызвать плохо контролируемый подъем здания.

При усилении фундаментов существующих зданий и сооружений производится бурение скважин рядом с фундаментами или сквозь них для образования под фундаментами грунтобетонных свайных элементов, с частичной и полной передачей на них нагрузки. Ориентация этих элементов может быть вертикальной или наклонной (рис. 1).

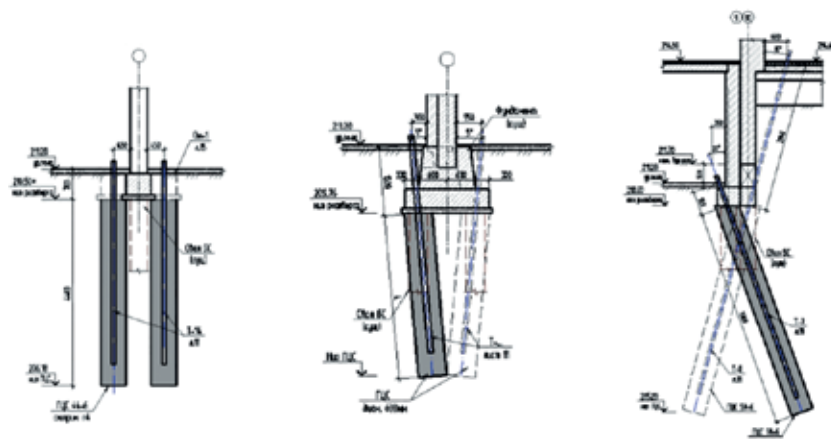


Рис. 1. Конструкция усиления существующих фундаментов грунтобетонными элементами

Под руководством Д.Е. Разводовского обобщен опыт применения технологии струйной цементации грунта под существующими фундаментными конструкциями и определены основные причины развития технологических осадок.

К ним относятся:

- осадки, возникающие в процессе размыва грунта;
- осадки, возникающие в процессе твердения грунтобетона;
- осадки, появляющиеся в процессе усадки грунтобетона. Величина этих осадок составляет 5...10 мм.

Для компенсации технологических осадок существующих фундаментов предусмотрена установка в грунтобетонный элемент сердечника – металлической трубы диаметром 73...86 мм, которая погружается в элемент сразу же после ее изготовления (рис. 2), и опрессовка головы элемента на участке длиной 1,0 м ниже подошвы ростверка. Опрессовка выполняется через перфорированную часть сердечника. Раствор – с водоцементным отношением В/Ц=0,8. Ориентировочный расход цемента на опрессовку одной сваи – 100 кг. Опрес-

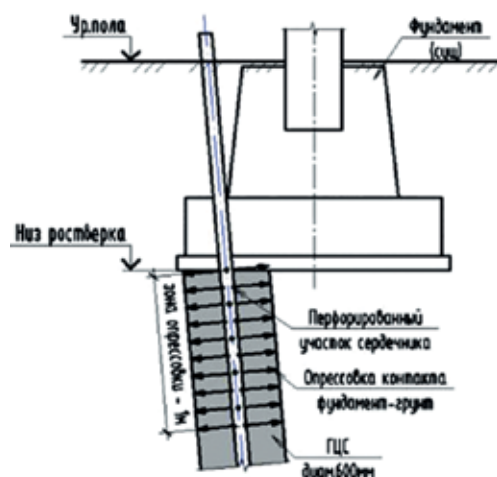


Рис. 2. Конструктивная схема компенсации технологических осадок



Рис. 3. Мониторинг динамики вертикальных перемещений характерной точки здания в период производства работ

совка оголовки выполняется на сроке 48...72 часа после изготовления грунтобетонного элемента.

Прогноз развития осадок структурного геомассива, формируемого при постоянном уровне действующего давления на основания, выполняется с учетом развития деформаций ползучести грунтобетона.

При производстве работ по устройству геотехнического массива под существующими фундаментами решающее значение имеет последовательность устройства грунтобетонных элементов в пятне застройки здания, а также скорость производства работ по изготовлению элементов. Если прогноз поведения сооружения, выполненный на основании расчетных или экспериментальных работ, затруднен, то предлагается применять подход, известный как «наблюдательный метод», который предполагает возможность корректировать проект в процессе строительства на основании результатов геотехнического мониторинга.

Технологические параметры проекта могут быть скорректированы по результатам ежедневного геодезического мониторинга вертикальных перемещений характерных точек здания. В ходе мониторинга определяется абсолютная величина осадок, скорость их развития и ускорение их развития.

Для применения наблюдательного метода необходимо выполнение следующих требований до начала строительства:

- должен быть выполнен предварительный расчетный прогноз; установлены контролируемые критерии и характеристики и их допустимые пределы.

- необходимо оценить возможный диапазон этих характеристик и удостовериться, что с приемлемой вероятностью реальные характеристики будут находиться в допустимых пределах. Для этого должна быть разработана программа контроля (мониторинга) изменения выбранных характеристик.

При проведении работ необходимо убедиться, что время реакции измерительных систем мониторинга и процедуры обработки и анализа результатов занимают достаточно мало времени по отношению к ожидаемой скорости развития ситуации на площадке для принятия своевременных действий. При этом должен быть разработан план мероприятий, который следует применить в случае превышения контролируемыми характеристиками допустимых пределов.

### Опыт применения

Технология струйной цементации или струйная геотехнология позволяет получать практически любой формы и размеров грунтоцементный массив, который обладает достаточно высокими прочностными, деформационными характеристиками, более чем на порядок превышающими характеристики грунта.

Применение этой технологии покажем на примере проведения специальных работ при строительстве Калининско-Солнцевской линии метро в Москве.

Строительство перегонных тоннелей между ст. Парк Победы до ст. Раменки проходит в створе ул. Минская.

Площадка строительства расположена на ул. Минская под железнодорожным путепроводом на 5 км линии Москва-Брянск Московской железной дороги. Путепровод выполнен из железобетонных балок и имеет четыре пролета, ширина путепровода составляет 48 м. Устои путепровода выполнены из сборно-монолитного железобетона на фундаментной плите. Промежуточные опоры столбчатые с ригелем на фундаментной плите. Под двумя центральными пролетными строениями размещены шесть полос Минской улицы по три в каждую сторону.



Рис. 4. Общий вид площадки строительства

Щитовая проходка осуществляется в сложных геологических условиях водонасыщенных неустойчивых грунтов с применением оборудования фирмы «Herrenknecht».

В основании путепровода залегают следующие ИГЭ:

- насыпные грунты – песчано-супесчаные с щебнем кирпича и строительным мусором;
- пески мелкие и пылеватые, маловлажные и водонасыщенные, мощностью от 2,7 до 7,0 м;
- пески средней крупности и крупные, прослоями гравелистые, водонасыщенные, мощностью от 0,5 до 5 м;

- суглинки полутвердой, тугопластичной и мягкопластичной консистенции, мощностью от 2,7 до 4,4 м;

- глина твердой, полутвердой и тугопластичной консистенции, мощностью до 22 м, с прослоем песков мелких и пылеватых, водонасыщенных, мощностью 1,5 м.

Принципиальная схема для сооружения тоннеля основана на технологии, предусматривающей для щитовой проходки в сложных инженерно-геологических условиях водонасыщенных неустойчивых грунтов систему активного пригруза. Применение такой системы обеспечивает стабилизацию неустойчивых грунтов и предупреждает аварийные провалы земной поверхности путем уравнивания грунтового и гидростатического давления в процессе разработки забоя.

Филиалом ОАО «ЦНИИС» НИЦ ТМ» был выпущен проект по укреплению грунтов при щитовой проходке тоннелей метро под ж/д путепроводом. Защитные мероприятия по укреплению грунтов должны обеспечить сохранность и эксплуатационную надежность существующего железнодорожного путепровода, безопасность движения поездов во время щитовой проходки тоннелей метро под путепроводом через ул. Минская, а также сохранности инженерных коммуникаций.

Для обеспечения сохранности железнодорожного путепровода через ул. Минскую в процессе щитовой проходки перегонных тоннелей КСЛ были выполнены следующие мероприятия:

- подготовительные работы (установка кондукторов в зоне фактического расположения инженерных коммуникаций);
- устройство грунтоцементных свай диаметром  $D=800$  мм в основании фундаментов методом струйной цементации.

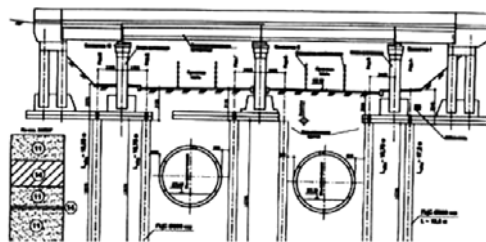


Рис. 5. Устройство дополнительных грунтобетонных свай

В связи с ограничением по высоте при производстве работ по устройству грунтобетонных конструкций были использованы малогабаритные буровые установки типа Beretta T43 и Drill 830.

Работы велись захватками по каждой оси, из трех полос в каждом направлении перекрывалась только одна полоса. Работы производились без остановки движения скоростных поездов в аэропорт Внуково. Проведенные защитные мероприятия по усилению фундаментов существующего путепровода с применением технологии струйной цементации грунта позволили выполнить безаварийную щитовую проходку тоннеля под путепроводом, что подтвердило правильность принятых проектных решений. Данная технология также может быть использована при устройстве искусственно улучшенных оснований для транспортных сооружений.

### **Здание памятника архитектуры «Конвойная команда»**

В Перми была проведена реконструкция объекта культурного наследия регионального значения XIX века. По архивным данным, здание построено в 1873 Григорием Степановичем Ташлыковым, автор проекта не известен. В 1884 году в здании разместили Конвойную команду. С 1939 года здание принадлежало Пермскому моторному заводу, но использовалось как казарменное. Позднее в здании расположились казармы и штаб Пермского военного гарнизона. Здание выкуплено коммерческой организацией. Проведены реставрационные работы с приспособлением здания под торгово-развлекательный комплекс.

Было выполнено техническое обследование здания. Фундаменты здания – ленточные бутовые и частично кирпичные на известково-песчаном растворе. Ширина подошвы в среднем 0,9...1,1 м. Заглубление фундамента от уровня земли 1,0...2,5 м.

Состояние фундаментов в целом удовлетворительное, на отдельных участках (10...15% от объема всех фундаментов) неудовлетворительное: выветривание кладочного раствора на глубину более 200мм (марка раствора М4-М10); подвижность бута (кирпича), местами вывалы. Основание фундаментов – суглинок тяжелый пылеватый туго-, реже мягкопластичной консистенции. Установившийся уровень подземных вод – 3,0...5,5 м от поверхности земли. Подошва фундаментов находится выше уровня подземных вод. Стены кирпичные, состояние в целом удовлетворительное, но имеются сквозные трещины, поверхностные разрушения кирпичной кладки наружной версты, сырость из-за

отсутствия гидроизоляции. Деформации, влияющие на эксплуатационную надежность здания, отсутствуют.

Пермскими архитекторами М.И. Футликом и О.В. Кузьяновой был разработан проект реконструкции здания, в котором было предусмотрено заглубление цокольного этажа ниже подошвы существующих фундаментов на 1,0...1,7 м.

Проект углубления подвальных помещений и усиления существующих фундаментов, разработанный нашей организацией, предусматривал: вывешивание существующего ленточного фундамента на пересекающиеся грунтобетонные сваи (сваи ССТ); усиление тела фундаментов методом инъектирования; устройством выравняющей вертикальной ж/бетонной обоймы по поверхности свай.

Грунтобетонные сваи в основании ленточных фундаментов диаметром 700 мм выполнены по технологии струйной цементации Jet1, с применением малогабаритной буровой установки КУБ 12/25.

Шаг свай принят 700 мм. Угол наклона к вертикали 10...12 градусов. В проекте предусмотрено чередование свай: «длинная», «короткая», «длинная» и т.д. Длина свай: «длинных – несущих» до 4,9 м ниже подошвы фундамента. Длина «коротких – ограждающих» свай – 2,0...3,0 м. Армирование свай выполняют перфорированной металлической трубой  $\varnothing 76 \times 3,5$  мм. Длинные сваи опираются на суглинок полутвердый с гравием (рис. 4).

Современные технологии позволяют увеличивать объемы исторических зданий, не нанося ущерба охраняемому объекту и окружающей застройке. Все это позволяет наделять старые здания современными функциями и дать им вторую жизнь.

### **Усиление конструкции стен взвоза (подъема от реки Иртыш на гору) на Тобольском архиерейском дворе**

Комбинированные сваи были выполнены за пределами стен и консолями уходили в конструкцию стен.

*Данный доклад был озвучен на VII Международной научно-практической конференции «Современные технологии, специальная техника и строительные материалы для устройства оснований и фундаментов» 26-27 мая 2021 года*