

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*Специализированное строительное предприятие продолжает развивать технологию инъекционного закрепления слабых грунтов. Причем последние два года предприятие значительное внимание уделяет наиболее современному направлению - струйной цементации грунтов. В статье приводится опыт практического применения технологии, который будет полезен проектным организациям при решении сложных задач подземного строительства – укреплении грунтов при строительстве тоннелей и метрополитенов, сооружении свайных фундаментов, подпорных стен и т. п.*

**А. Г. Малинин,**  
генеральный директор,  
канд. техн. наук

## Краткое описание технологии

Сущность технологии струйной цементации грунтов заключается в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для одновременного разрушения и перемешивания грунта с раствором в режиме «mix-in-place» (перемешивание на месте). После твердения смеси образуется новый материал – грунтобетон, обладающий высокими прочностными и деформационными характеристиками. По сравнению с традиционными технологиями струйная цементация позволяет укреплять практически весь диапазон грунтов – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов.

Другим преимуществом технологии является возможность работы в стесненных условиях подземного пространства. В этом случае непосредственно на участке укрепления грунтов устанавливается только буровая установка, а весь инъекционный комплекс располагается на более удобной удаленной площадке.

Устройство грунтоцементных свай выполняют в два этапа – при прямом и обратном ходе буровой колонны. В первом случае бурят скважины до нижней отметки предполагаемой сваи, во втором - производят подъем колонны с одновременным ее вращением. При этом через сопла диаметром 1.6 - 3.0 мм, установленные на нижнем конце буровой колонны, подают водоцементный раствор под давлением 400-600 атм.

Для производства работ предприятием приобретен полный комплект высоконапорного оборудования: цементировочный насос GEO-ASTRA 5T3021 (Италия) - (рис. 1), монитор, керамическое сопла, вертлюг; штанги и шпиги высокого давления зарубежного производства. Кроме того, специалистами предприятия выполнено оснащение отечест-

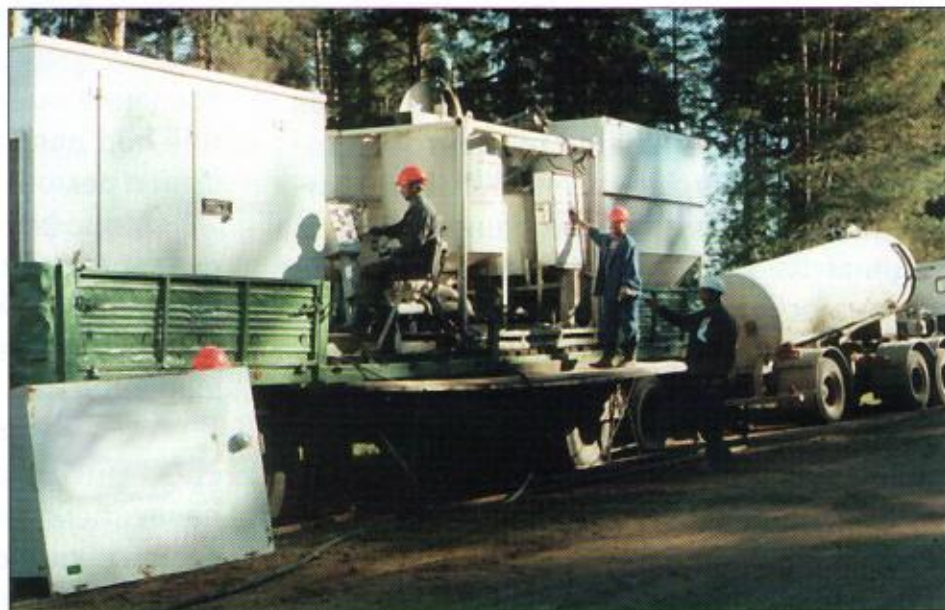


Рис. 1. Цементировочный насос GEO-ASTRA 5T3021

венного бурового станка УРБ-2А-2 специальным технологическим высоконапорным оборудованием. Последним достижением является разработка и изготовление автоматической миксерной станции с производительностью приготовления цементного раствора до 100 л/мин. Ведущие специалисты предприятия прошли стажировку в Италии (на фирме TECNIWELL) и получили квалификационные сертификаты на право применения технологии для решения различных задач подземного строительства.

## Сооружение грунтоцементных свай с уширенной пятой

Сегодня предприятие не только широко применяет технологию, но и совершенствует ее с учетом имеющегося собственного опыта. Новым шагом является устройство грунтоцементных свай с уширенной пятой, за счет которой резко повышается их несущая способность.

Очень часто при сооружении фундаментов подземных сооружений требуется создать грунтоцементные сваи в сла-

бых грунтах большой мощности. В этом случае опереть сваю на нижележащий слой прочного грунта либо не представляется технически возможным, либо нецелесообразно по экономическим причинам. Повышение несущей способности свай возможно только с помощью уширения ее пяты, которое достигается дополнительной операцией гидроразрыва.

Последовательность устройства грунтоцементной сваи с уширенной пятой состоит в следующем (рис. 2). После подъема буровой колонны, т.е. формирования сваи, в ее тело опускают металлическую трубу диаметром 57-89 мм, на нижнем конце которой расположены отверстия диаметром 5-8 мм. Для предотвращения попадания в трубу грунтобетона последние закрывают резиновыми манжетами. После расчетного набора прочности грунтобетона через трубу в нижнюю часть сваи под давлением подают цементный раствор. Он сначала разрывает тело сваи, а затем прилегающий грунт. После отвердевания цементного раствора в трещинах разрыва вокруг пяты формируется дополнитель-

ная зона из укрепленного грунта, которая значительно повышает несущую способность сваи.

Металлическая труба после проведения всех работ не извлекается и служит армирующим элементом, повышающим прочностные и деформационные характеристики сваи. Кроме того, часто труба является элементом сопряжения тела сваи с сооружаемым ростверком или другими несущими конструкциями подземного объекта.

Для определения необходимого критического давления гидроразрыва необходимо знать только плотность грунта, глубину расположения подошвы сваи, а также прочность грунтобетона при сжатии и растяжении.

## Прочность грунтобетона

Прочностные свойства материала грунтоцементных свай зависят от многочисленных факторов: гранулометрического состава грунта, водоцементного отношения раствора, количества цементного раствора на 1 пог. м сваи, скорости подъема монитора.

Необходимо отметить, что в зависимости от технологических параметров, прочностные свойства свай даже для одного типа грунта могут изменяться в достаточно широком диапазоне. Так, например, при сооружении свай в супесях, снижая водоцементное соотношение рабочего раствора от  $B : Ц = 1,0$  до  $0,8$ , можно повысить прочность материала сваи в 1,5 раза.

Технология позволяет изменять количество цементного раствора на единицу объема грунта в широких пределах, иногда до его полного замещения. В этом случае прочность материала свай, независимо от типа грунта, будет равна прочности отвердевшего цементного раствора. При отборе монолитов из участков тела свай, сформированных при практически полном замещении грунта, установлено, что прочность материала сваи составляет 30-40 МПа.

В табл. 1 приведены результаты измерения прочности грунтобетона на объектах, выполненных предприятием в 2000-2001 гг.

Отметим, что часто для увязывания операции по укреплению грунта с другими технологическими операциями, необходимо знать не только абсолютную прочность грунтобетона, но и характер набора прочности во времени. Знание данной зависимости позволяет, например, определить время отстоя сваи для гидроразрыва или последующего нагружения ее конструктивными элементами строящегося подземного сооружения.

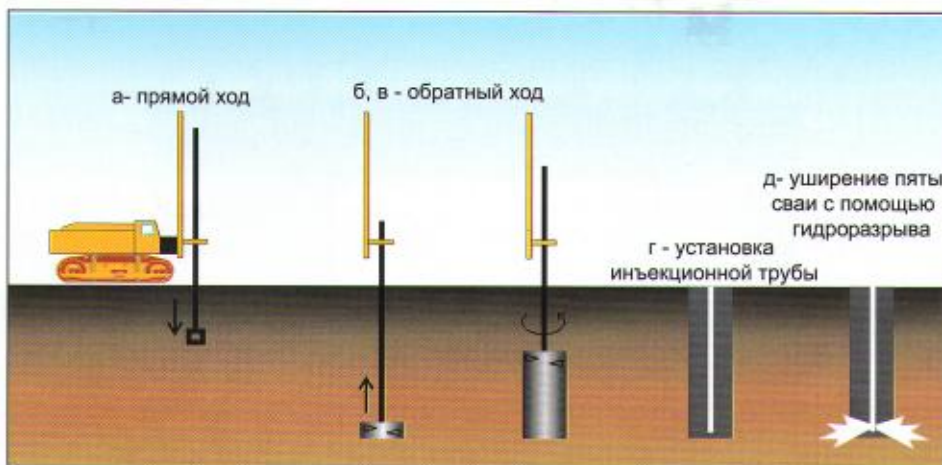


Рис. 2. Схема производства струйной цементации

## Расчет несущей способности грунтоцементных свай

В тех случаях, когда с помощью струйной цементации создаются вертикальные, отдельно стоящие сваи для передачи нагрузки от элементов наземных или подземных конструкций на грунтовое основание, необходимо правильно рассчитать несущую способность свай.

В том случае, когда грунтоцементная свая представляет сваю-стойку, т.е. опирается нижним концом на скальный грунт, расчет не представляет каких-либо трудностей.

Гораздо более интересным является устройство висячей грунтоцементной сваи. В этом случае сваи обладают целым рядом преимуществ по сравнению с забивными, буровыми, набивными или буринъекционными:

- при струйной цементации вокруг свай происходит существенное уплотнение грунта и, соответственно, повышение его прочностных характеристик. Это связано с «прессующим» воздействи-

ем на грунт цементной струи, а также дополнительным уплотняющим воздействием весового давления столба грунтоцементной смеси;

- между стволом сваи и грунтом образуется пограничный слой из отвердевшего чистого цементного раствора, который значительно повышает сцепление сваи с грунтом;

- грунтоцементные сваи имеют более развитую «волнообразную» поверхность, при этом разрушение грунта по боковой поверхности свай происходит по цилиндрической поверхности, диаметр которой равен максимальному диаметру сваи;

- подошва ее опирается на грунт, покрытый слоем отвердевшего цемента, а не на буровой шлам, как это происходит при производстве буровых свай.

Анализ перечисленных факторов показывает, что при равной длине и среднем диаметре ствола несущая способность грунтоцементных свай на 10-30% больше несущей способности буровых или набивных свай.

Рис. 3. Сооружение грунтоцементных свай



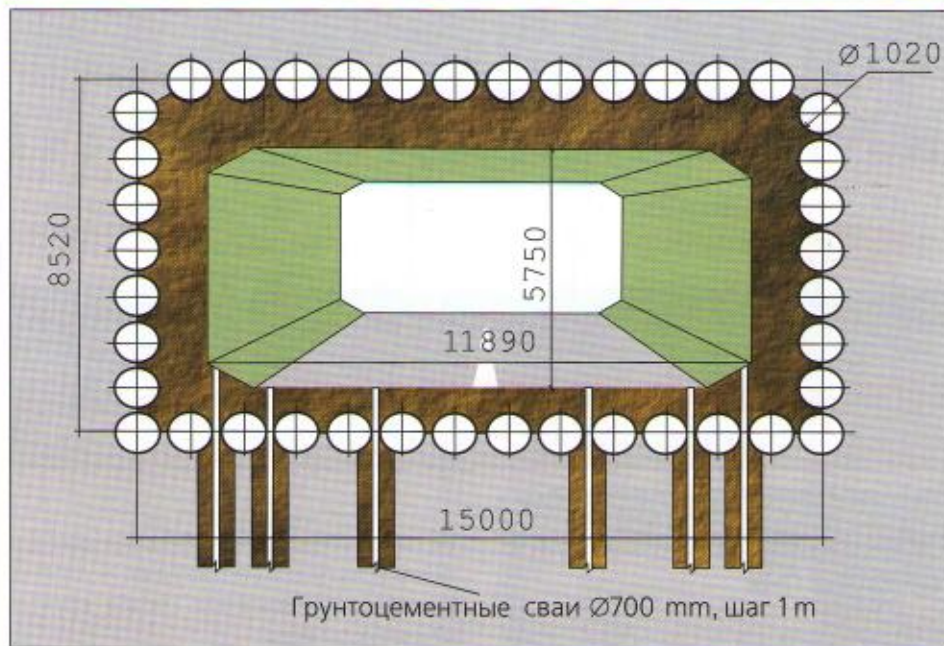


Рис. 4. Грунтоцементные сваи в основании лотка тоннеля

Отметим, что в соответствии с вышеперечисленными особенностями, площадь и периметр поперечного сечения следует вычислять с использованием не среднего, а максимального значения диаметра сваи.

## Сооружение грунтоцементных свай в основании автодорожного тоннеля

Наиболее интересным объектом является строительство автодорожного тоннеля в г. Перми. Он был пройден в теле насыпи из мелкозернистого песка, сооруженной в начале века на обводненной территории, на которой располагаются русла трех подземных рек. Именно поэтому основание насы-

пи сложено двухметровым слоем сильно сжимаемого торфа, ниже которого находятся текучие суглинки, подстилающиеся твердыми глинами.

Последний этап строительства был связан с необходимостью полного укрепления грунта в основании труб лотковой части тоннеля. С целью получения надежных результатов было принято решение о сооружении грунтоцементных свай с помощью технологии струйной цементации (рис. 3).

Бурение скважин на порталных участках производили установкой УРБ-2А-2 (Россия), а в ограниченном пространстве тела тоннеля - с помощью установки ИРС-950. Цементную смесь с В : Ц = 0,8-1,0 готовили в

миксере TW021 (Италия) и инъецировали высоконапорным насосом TW351. Давление нагнетания составляло 400-450 атм., расход цементного состава - 80-105 л/мин, диаметр свай в песках и суглинках - 700 мм, а в слое торфа доходил до 850 мм.

Глубина свай, в зависимости от геологического строения участка, достигала 9,5 - 11,5 м. Подошва свай опиралась на плотные аргилитоподобные глины.

Сваи сооружали после разработки всего объема грунта. Для этого в замках труб вырезали отверстия, на которые устанавливали кондуктора в виде труб диаметром 159 мм. Их соединяли с арматурным каркасом лотка. После его бетонирования через трубы производили бурение лидирующих скважин и устройство грунтоцементных свай. Всего на площадке строительства тоннеля было выполнено 250 свай. Их шаг и расположение в теле тоннеля показаны на рис. 4.

## Заключение

С помощью струйной цементации грунтов предприятием за два года выполнено большое количество интересных с инженерной точки зрения объектов. Ограниченность статьи не позволяет подробно описать каждый из них. Однако даже краткий анализ табл. 1 показывает, что технология может быть успешно применена в разнообразных геологических условиях для решения различных технических задач.

В настоящее время предприятием изготовлена буровая установка, позволяющая выполнять устройство свай в горизонтальном положении (инъекционных грунтоцементных нагелей). Это даст возможность решить такую сложную задачу, как укрепление забоев тоннелей, проходка которых осуществляется в неустойчивых грунтах, а также расширить список приложения технологии:

- устройство одиночных свайных фундаментов в слабых грунтах;
- возведение сплошной «стены в грунте» из взаимно пересекающихся грунтоцементных свай вокруг строящихся котлованов;
- устройство водонепроницаемой плиты в днище котлованов из коротких пересекающихся свай (нагелей);
- сооружение подпорных стен для повышения устойчивости склонов и откосов;
- закрепление слабых и обводненных грунтов вокруг строящихся подземных городских сооружений - колодцев, коллекторов, тоннелей;
- сооружение противодиффузионных завес.

Таблица 1  
Прочностные характеристики грунтобетона, полученные на объектах ОАО «ССП-РЕГИОН»

Наименование объекта	Грунт	Диаметр сваи, м	Прочность материала сваи, МПа	Несущая способность сваи, Тс
Реконструкция ул. Попова в Перми	Обводненный мелкозернистый песок	0,60-0,65	12,0-18,0	68-110
Автодорожный тоннель по ул. Локомотивной в Перми	Торф	0,85	3,81	
	Суглинок	0,68-0,72	4,10-6,30	
Химический реактор на территории АО «СТИРОЛ» (Пермь)	Отвердевший цементный раствор	0,68-0,72	28,9	
		Супесь	0,60	
Подпорная стенка на аварийном участке автодороги Пермь-Москва	Глины	0,7	6,8	
Укрепление откоса автодороги вдоль берега р. Очер Пермской области	Насыпной грунт (супесь с высоким содержанием щебня, камня)	-	8,5-10,5	