

## СТРУЙНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ГРУНТОВ В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**Малинин А.Г.**, к.т.н., тех. директор,  
чл. Правления Тоннельной ассоциации России;  
**Малинин П.А.**, гл. технолог  
(ЗАО «ИнжПроектСтрой», г. Пермь)

Технология струйной цементации грунтов находит все более широкое применение при решении различных задач подземного строительства. Сущность технологии описана в статьях автора [1,2]. В настоящей статье приводится обоснование и опыт применения технологии для устройства горизонтальных противодиффузионных завес.

### 1. Введение.

Строительство глубоких котлованов всегда считалось одной из наиболее сложных задач подземного строительства. В последнее время актуальность задачи возросла в связи с появившимся и ежегодно растущим спросом на подземные многоуровневые автостоянки, расположенные под строящимися жилыми домами. Особенно ярко это проявляется в таком крупнейшем мегаполисе, как г. Москва, где практически каждый элитный дом, строящийся в центральной части города, предусматривает подземную автостоянку, значительно повышающую финансовую привлекательность проекта для инвесторов.

Между тем, строительство котлованов в условиях чрезвычайно плотной городской застройки имеет свои особенности. В первую очередь это касается невозможности устройства ограждений котлованов с помощью забивки свай или металлического шпунта из-за негативного воздействия на фундаменты и стены близко расположенных зданий. Применение буронабивных свай значительно увеличивает продолжительность и стоимость строительства и не всегда обеспечивает водонепроницаемость стен котлована из-за расхождения свай на больших глубинах.

Наиболее сложной является ситуация, когда не удается заглубить буровые сваи в слой естественного водоупора. Так как традиционное водопонижение в стесненных условиях может привести к аварийным осадкам соседних зданий, вся оставшаяся надежда возлагается на малоэффективные инъекционные методы, предус-

матривающие нагнетание в днище котлована цементных составов и синтетических смол.

Комплексным решением всех проблем, на наш взгляд, является применение при строительстве котлованов технологии струйной цементации грунтов, которая, по сравнению с другими технологиями, имеет следующие преимущества:

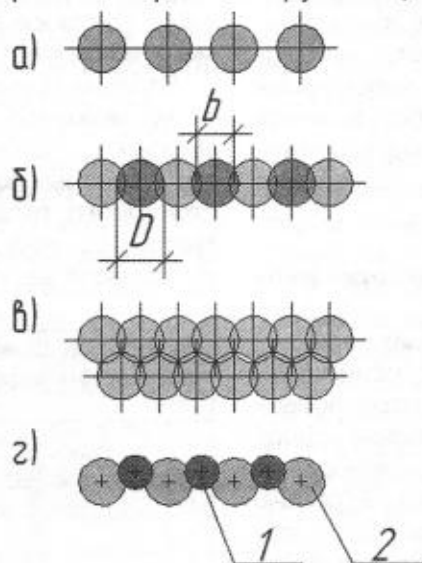
- отсутствие негативного воздействия на фундаменты соседних зданий в процессе устройства ограждения из грунтоцементных свай;
- обеспечение водонепроницаемости ограждения из взаимносекущихся свай;
- возможность устройства надежной горизонтальной противодиффузионной завесы в днище котлована (слоя искусственного водоупора).

Сущность технологии заключается в разрушении грунта высоконапорной струей цементного раствора с одновременным перемешиванием грунта с цементным раствором. В результате в грунтовом массиве образуются колонны из нового материала – грунтобетона, обладающего высокими прочностными и противодиффузионными характеристиками [1-3].

### 2. Ограждение котлованов из грунтоцементных свай.

Одна из областей применения технологии струйной цементации – это устройство ограждения котлованов из грунтоцементных свай.

Варианты конструкции ограждения котлована могут быть различными в зависимости от геологических условий и типа решаемой задачи (рис.1). Первая схема ограждения из одиночных свай применяется для неглубоких котлованов, сооружаемых в грунтах высокой устойчивости. Вариант «б» из взаимносекущихся свай является эффективным в случаях, когда необходимо дополнительно обеспечить водонепроницаемость стен котлована. При значительных глубинах для повышения устойчивости бортов возможно устройство ограждения из двух или трех рядов свай. В некоторых случаях применяется комбинированный вариант, когда основную нагрузку воспринимают буронабивные армирован-



**Рисунок 1. Конструкция ограждения котлована из свай:**  
а) одиночные сваи, б) взаимносекущиеся сваи, в) двухрядное ограждение, г) комбинированная конструкция из буронабивных (1) и грунтоцементных (2) свай

ные сваи, а грунтоцементные сваи являются бетонной заборкой, обеспечивающей водонепроницаемость стен котлована (рис. 1, г).

Армирование грунтоцементных свай обычно производится центрально расположенными трубами диаметром 70-150 мм или одиночным арматурным стержнем.

Для таких схем армирования автором получены формулы, позволяющие вычислить предельный момент сечения сваи. Полный вывод формул для всех конструкций ограждения из отдельно стоящих, касательных или взаимосекущихся свай можно посмотреть в Интернете на сайте [www.jet-grouting.ru](http://www.jet-grouting.ru).

Предприятием ЗАО «ИнжПроектСтрой» выполнены работы по устройству ограждения котлована многоуровневой автостоянки по ул. Мытная в Москве по проекту, разработанному ООО «Инженерное бюро Юркевича». Для обеспечения устойчивости бортов проектной организацией было предусмотрено устройство вертикальных и наклонных свай.

Устройство свай выполнялось технологическим комплексом в составе: буровая установка RAPTOR TWS1400, миксерная станция MC-10 и цементирующая насосная станция TW351. Устройство свай диаметром 800-850 мм выполняли в технологическом режиме струйной цементации Jet1 при давлении нагнетания цементного состава 400-450 атм. Детальное описание объекта приведено в [4].

Безаварийная разработка грунта в котловане доказала верность решений проектной организации, а также высокое качество выполненных строительных работ. Это обеспечило устойчивость бортов котлована без сооружения дополнительных расстрелов, подкосов, анкеров и др. и в последующем значительно облегчило выполнение бетонных работ в котловане (фото 1, 2).

### 3. Устройство горизонтальной противодиффузионной завесы.

В тех случаях, когда естественный слой водоупора залегает на значительной глубине, технология струйной цементации грунтов позволяет в обводненном грунтовом массиве сформировать слой искусственного водоупора из взаимосекущихся грунтоцементных свай (рис. 2).

Устройство горизонтальных завес стало эффективным с помощью данной технологии по нескольким причинам. Во-первых, технология дает возможность сооружения грунтоцементных колонн в «утопленном» высотном положении. Для этого в процессе прямого хода бурят скважину до проектной отметки подошвы ПФЗ, включают высоконапорную подачу цементного раствора



Фото 1. Внешний вид котлована по ул. Мытной



Фото 2. Руководитель объекта Казаков А.В. на фоне выполненных свай

и начинают подъем буровой колонны с одновременным ее вращением. При достижении проектной отметки кровли ПФЗ подачу цементного раствора прекращают, а буровой инструмент извлекают на поверхность.

Вторым преимуществом технологии является возможность создания сплошных грунтовых массивов, состоящих из взаимно секущихся грунтоцементных колонн. Для этого устройство сплошного тела завесы разбивают на этапы. Например, при двух этапах устройство колонн выполняют не подряд, а через одну колонну.

Рисунок 2. Схема устройства горизонтальной противодиффузионной завесы

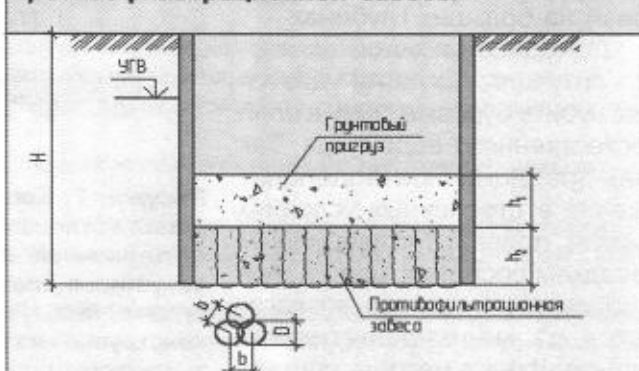




Фото 3. Устройство противофильтрационной завесы в днище котлована многоуровневой автостоянки по Озерковской наб.



Фото 4. Вид грунтоцементных свай при проходке опытного шурфа

После твердения грунтоцемента возвращаются к началу участка и выполняют устройство пропущенных колонн. В этом случае струя цементного раствора «сканирует» поверхность ранее выполненных колонн, обеспечивая абсолютно полное примыкание к ним новой колонны.

Устройство завес выполняется с дневной поверхности строительной площадки, либо с промежуточной отметки пионерного котлована. Глубина пионерного котлована ограничивается уровнем грунтовых вод. Последнее решение не только резко сокращает общий объем бурения, но существенно его облегчает, так как в этом случае удаляется верхний слой грунта, содержащий остатки старых фундаментов, строительный мусор и т.п.

Толщина завесы определяется из условия, что вес тела завесы должен быть равен силе давления грунтовой воды на подошву завесы. При

недостаточной толщине завесу располагают так, чтобы над ней оставался пригруз из слоя грунта.

Фото 3 иллюстрирует процесс устройства противофильтрационной завесы предприятием «ИнжПроектСтрой» в котловане площадью 2900 м<sup>2</sup> строящейся многоуровневой автостоянки по Озерковской набережной в г. Москве.

Грунты представлены обводненными супесями. Глубина грунтовых вод – 5,5 м, поэтому для снижения объема буровых работ был вскрыт пионерный котлован глубиной 5,0 м. Глубина бурения свай составляла 5,4 м при мощности противофильтрационной завесы 1,0 м.

Проходка опытного шурфа показала, что диаметр грунтоцементных свай, сооруженных по технологии Jet2, составил 1,5-1,7 м при шаге свай 1270 мм (фото 4).

Работы по устройству завесы были выполнены в летний период 2003 года. В январе 2004 года подрядчик приступил к земляным работам. Обследование обнаженного днища показало отсутствие каких-либо протечек воды в котловане.

#### 4. Заключение.

Ограждение котлована и противофильтрационная завеса, устраиваемые с помощью струйной цементации грунтов, сегодня является технологией, имеющей все необходимые предпосылки для широкого практического внедрения. Методика расчета, проектирования и, главное, технология сооружения свай прошли реальную апробацию на достаточно сложных объектах. Это позволяет рекомендовать ее для строительства подземных объектов в условиях плотной городской застройки.

#### Литература.

1. Малинин А.Г. Применение струйной цементации грунтов в подземном строительстве // Подземное пространство мира. 2000, №2.
2. Малинин А.Г. Применение технологии струйной цементации грунтов в транспортном строительстве // Метро и тоннели. 2001, №6.
3. Малинин А.Г. Обоснование расхода цемента при струйной цементации грунта // Подземное пространство мира. 2003, №3.
4. Малинин А.Г. Предприятие – ЗАО «ИнжПроектСтрой» // Метро и тоннели. 2003, №3.



Закрытое акционерное общество  
**ИнжПроектСтрой**

#### Струйная цементация грунтов:

- ограждение котлованов
- противофильтрационные завесы
- укрепление фундаментов

Телефон: (3422) 196-361

Факс: (3422) 196-103

E-mail: [epc@permlink.ru](mailto:epc@permlink.ru)

<http://www.jet-grouting.ru>