

## УСТРОЙСТВО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ В ДНИЩЕ КОТЛОВАНА СТРОЯЩЕЙСЯ ПОДЗЕМНОЙ АВТОСТОЯНКИ

А.Г. Малинин, канд. техн. наук,  
технический директор ЗАО «ИнжПроектСтрой»,  
член Правления Тоннельной ассоциации России,  
П.А. Малинин, инженер

*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 практический опыт применения технологии для устройства горизонтальных противофильтрационных завес при строительстве котлованов в обводненных условиях*



Фото 1. Высоконапорная струя цементного раствора.

### 1. Введение.

Строительство подземных автостоянок в близости, а чаще непосредственно под строящимся административными или жилыми зданиями в г. Москве давно уже считается не экзотикой, а насущной необходимостью, позволяющей не только решить задачи очистки улиц от припаркованного автотранспорта, но и значительно повысить инвестиционную привлекательность строящихся объектов.

Строительство котлованов в устойчивых грунтах не представляет трудностей, однако задача многократно усложняется, когда грунтовый массив находится в обводненном состоянии. В таких случаях применяется традиционный способ, основанный на предварительном сооружении «стены в грунте» или опускной крепи до глубины залегания слоя естественного водоупора с последующей разработкой грунта под защитой водонепроницаемого ограждения.

Иная ситуация наступает, когда естественный водоупор отсутствует или когда он находится на значительной глубине, при которой его достижение ограждающими конструкциями становится экономически нецелесообразным. До недавнего времени в этом случае применяли методы водопонижения, которые часто бывали неэффективными при высоких фильтрационных характеристиках грунтов или

становились опасными в связи с суффозионными процессами, негативно влияющими на фундаменты близко расположенных зданий и сооружений.



Фото 2. Грунтоцементная колонна диаметром 1800 мм.

Сегодня такая задача может быть успешно решена с помощью технологии струйной цементации грунтов, позволяющей создать искусственный слой водоупора – горизонтальную противofiltrационную завесу (ГПФЗ).

Сущность технологии заключается в разрушении грунта высоконапорной струей цементного раствора с одновременным перемешиванием грунта с цементным раствором (фото 1). В результате в грунтовом массиве образуются колонны из нового материала – грунтобетона, обладающего высокими прочностными и противofiltrационными характеристиками [1]. С помощью взаимного пересечения колонн большого диаметра можно конструировать слой укрепленного грунта (грунтобетона), расположенный на требуемой глубине [2].

## **2. Объект строительства.**

Именно такая задача возникла при строительстве жилого многоэтажного дома с подземной двухуровневой автостоянкой по Озерковской набережной, 52 г. Москвы.

Площадка строительства расположена в непосредственной близости от обводного канала Москвы реки, поэтому вмещающие грунты были представлены обводненными песками, перемежающимися с супесями. Верхний техногенный слой мощностью 2,5-3,0 м включал остатки старых фундаментов из бутовой кладки и железобетонных конструкций.

Котлован размерами в плане 70 x 40 м и общей площадью 2800 м<sup>2</sup> в соответствии с разработанным проектом должен быть вскрыт на глубину 9 м.

Для извлечения старых фундаментов, а также уменьшения объемов буровых работ был вскрыт пионерный котлован на глубину 5 м, с днища которого должны быть выполнены работы по устройству фofiltrационной завесы на глубине 7 м.



Фото 3. Производство работ по устройству ПФЗ.

Первоначальный проект предусматривал устройство противодинамической завесы с помощью традиционной технологии инъекционного закрепления грунтов. Впоследствии Заказчик отказался от этого варианта в связи с высокой стоимостью реализации данного проекта. Большое количество инъекционных манжетных труб, установленных по сетке 1 x 1 м, а также применение зарубежных экологически безопасных, но чрезвычайно дорогих инъекционных материалов привели к высокой

стоимости работ и сделали реализацию проекта экономически нецелесообразной. Кроме того, применение «неуправляемой» инъекционной технологии не гарантировало достижения высокой однородности закрепления массива и, следовательно, снижения остаточного водопитока в котлован до безопасного уровня.

Именно по этим причинам предприятием «ИнжПроектСтрой» была предложена и впоследствии реализована более эффективная технология устройства ГПФЗ в днище котлована с помощью струйной цементации грунтов.

Для снижения стоимости работ было предложено применить двухкомпонентную схему (Jet-2), при которой размыв грунта производится водоцементной струей под защитой воздушной рубашки (фото 1).

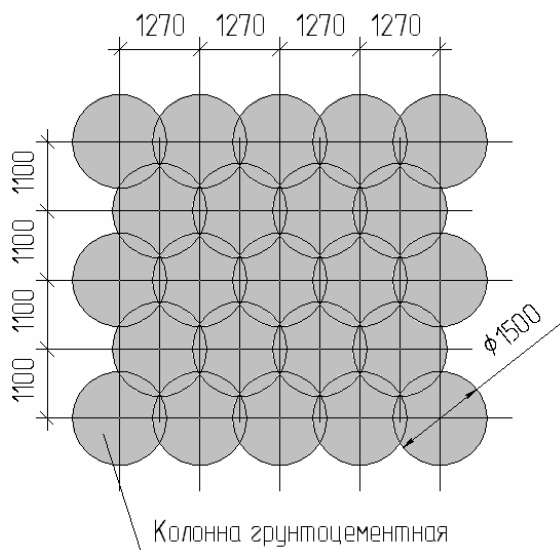


Рис.1. Расположение грунтоцементных колонн в плане.

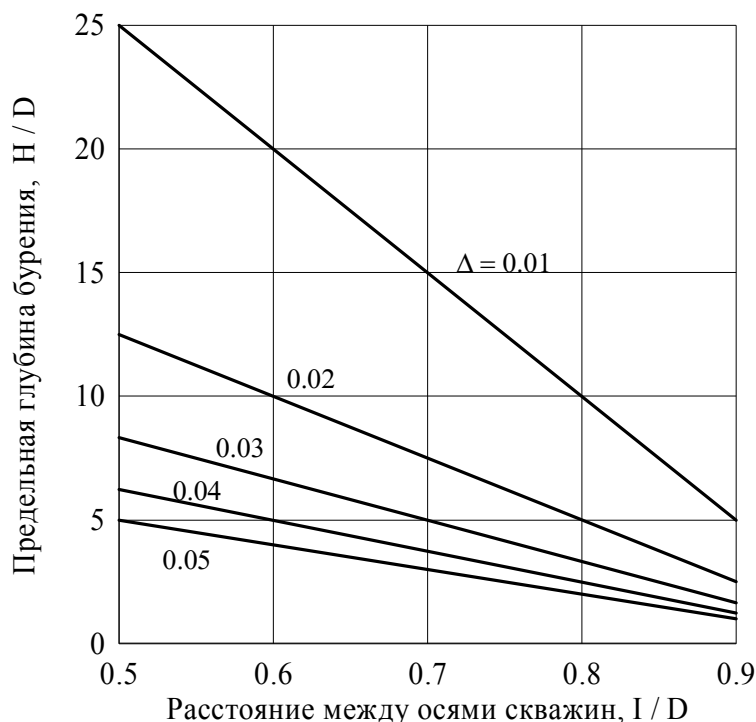


Рис.2. Зависимость глубины бурения скважин от расстояния между скважинами для различных величин отклонения оси скважины от вертикали (D – диаметр колонны, I – шаг между колоннами).

По сравнению с однокомпонентной технологией (Jet-1) такая технологическая схема позволяет увеличить диаметр грунтоцементной колонны с 0,6-0,7 м до 1,5-1,8 м (фото 2), т.е. примерно в 5-6 раз увеличить объем укрепленного грунта на 1 п.м. скважины и, соответственно, во столько же раз уменьшить стоимость работ.

### 3. Проектирование.

Разработанный проект предусматривал устройство завесы из взаимно пересекаемых грунтоцементных колонн диаметром 1500 мм, расположенных в шахматном порядке по сетке 1100 x 1270 мм (рис.1). Такой шаг был выбран исходя из требования обеспечения гарантированного пересечения грунтоцементных колонн. Расчет шага выполняли из условия, что при бурении лидирующих скважин даже в однородном грунте возможно отклонение буровой колонны от вертикали на 1 градус (относительное горизонтальное отклонение  $\Delta = 0,02$ ). В соответствии с разработанной методикой отношение шага колонн к диаметру колонны должно составлять не менее  $I/D = 0,85$  (рис.2).

Для проверки достижения проектных значений было выполнено устройство трех опытных колонн с различным временем размыва грунта струей цементного раствора. На рис.3 приведены значения диаметров колонн, измеренных при проходке контрольного шурфа. Отметим, что на графике приведено время размыва (обработки) интервала грунта высотой 4 см, что является общепринятым в международной практике. По результатам испытаний было принято решение об установке времени обработки интервала 9 секунд, что соответствовало времени устройства 1 п.м. колонны примерно за 4 минуты.

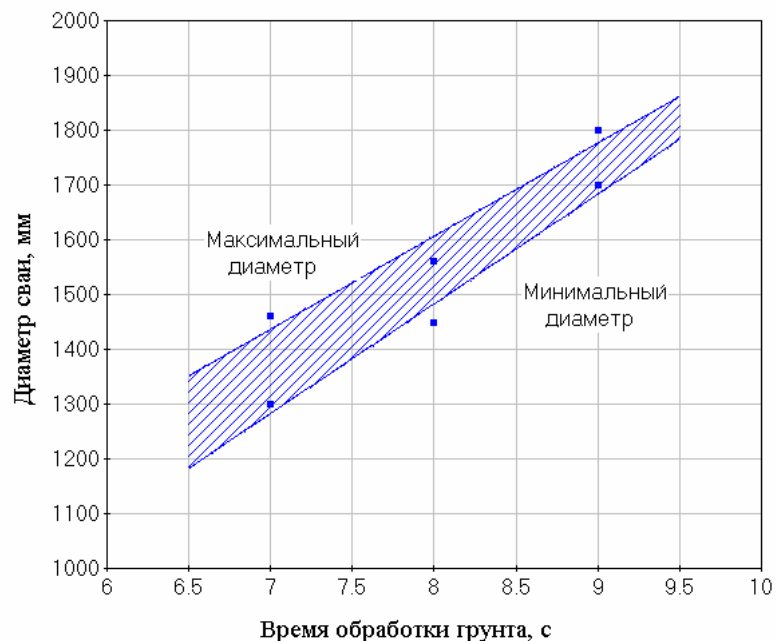


Рис.3. График зависимости диаметра грунтоцементных свай от времени обработки грунта.

#### 4. Производство работ.

Устройство колонн выполняли буровой установкой RAPTOR TWS1400, нагнетание цементного состава под давлением 450-500 атм производили трехплунжерным цементировочным насосом TW351 (фото 4). Цементный раствор (В:Ц = 0,9) готовили в миксерной станции производительностью 10 м<sup>3</sup> в час. Сжатый воздух подавали в магистраль компрессором производительностью 8 м<sup>3</sup>/мин при давлении 7 атм.



Фото 4. Инъекционный комплекс.

В связи с расположением строительной площадки в непосредственной близости от жилого дома и невозможностью работы в ночное время, все работы вели только в одну дневную смену. Тем не менее, даже при таких временных ограничениях применение высококлассной буровой и инъекционной техники позволило добиться производительности 30-40 колонн в смену и выполнить работы всего за 3 месяца.

### 5. Заключение.

Работы по устройству завесы были выполнены в летний период 2003 года. В январе 2004 года подрядчик приступил к земляным работам. Обследование обнаженного дна показало, отсутствие даже протечек воды в котловане (фото 5).

Таким образом, предложенная технология продемонстрировала высокую эффективность устройства противофильтрационных завес при строительстве котлованов в обводненных условиях, а также возможность ее применения при строительстве объектов в городских стесненных условиях.



Фото 5. Внешний вид котлована после устройства ПФЗ.

Контактные телефоны: (3422) 196-103, 196-361

Официальный интернет-сайт: [www.jet-grouting.ru](http://www.jet-grouting.ru)

### Литература:

1. Малинин А.Г. Применение струйной цементации в подземном строительстве // Подземное пространство мира, 2000, №2.

2. Малинин А.Г., Малинин П.А. Устройство горизонтальной противофильтрационной завесы с помощью струйной цементации грунтов // Метро и тоннели, 2003, №3