

**ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ
СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ГРУНТОВ**

Струнин П.В.

Руководитель проектного отдела представительства в г. Москва, ООО «СК «ИПС», m-ips@yandex.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Глубокий котлован, струйная цементация грунтов, грунтовый анкер, комплексный расчет [котлована](#)

АННОТАЦИЯ: В настоящей статье изложен [опыт расчета, проектирования и устройства](#) глубокого котлована выполненного при помощи технологии струйной цементации грунтов и [грунтовых анкеров «Атлант»](#).

**EXPERIENCE OF CONSTRUCTION OF DEEP EXCAVATION BY MEANS OF TECHNOLOGY
JET GROUTING**

Strunin P.V.

Head of project Department of the representative office in the Moscow, «IngProektStroy», m-ips@yandex.ru

KEY WORDS: Deep excavation, Jet-grouting, ground anchor, calculation of retaining wall

ABSTRACT: [This article describes the experience of the calculation, design and construction of deep excavation carried out with the help of technology jet grouting and ground anchors "Atlant".](#)

Развитие крупных мегаполисов одновременно с ростом числа автомобилистов привели к необходимости изменения градостроительной политики России. В наше время зачастую строительство в крупных городах ведется по принципу точечной застройки, когда проектируемое сооружение необходимо разместить в стесненных городских условиях. Вместе с тем, при таком размещении должно соблюдаться нормативное значение обеспеченности парковочных мест, на единицу торговой или жилой площади ([согласно СП 42.13330.2011 «Градостроительство»](#)). Данные ограничения вызывают необходимость возведения подземной части, для размещения в ней парковочных мест.

Строительство глубоких котлованов справедливо относится к одной из труднейших в области геотехнического строительства. Трудности в освоении подземного пространства связаны со сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, наличием уже существующих подземных сооружений, сетей инженерных коммуникаций, метрополитена и других объектов, что в конечном итоге может привести к достаточно сложной проектной задаче. Кроме того, выбранный способ возведения подземного сооружения также должен обеспечивать минимальные дополнительные деформации зданий, попадающих в зону влияния нового строительства.

Поэтому в оптимальном варианте ограждающая конструкция котлована должна решать [комплекс](#) задач: обеспечивать надежность и устойчивость бортов котлована, водонепроницаемость, [а также быть экономичной](#).

Одной из технологий, позволяющей выполнить все вышеперечисленные условия при устройстве ограждения котлована, является технология струйной цементации грунтов [1].

В настоящей статье приводятся [опыт проектирования и устройства ограждения котлована из грунтоцементных свай в обводненных песчаных грунтах](#).

В г. Пушкино в настоящее время ведется строительство многоэтажного жилого комплекса состоящего из трех зданий, объединенных общей подземной частью, [в котором располагается двухуровневый паркинг](#). Высота зданий составляет 24 этажа. План возводимого жилого комплекса представлен на рисунке 1.

Строительство комплекса ведется практически одновременно [на трех корпусах с возведением подземной части](#), поэтому техническим решением был предусмотрен общий котлован для всех трех зданий. В зависимости от участка глубина котлована варьировалась от 5,3 до 10,2 м. Размеры котлована составляют 163x104 м. Общий периметр котлована – 2 028 п.м.

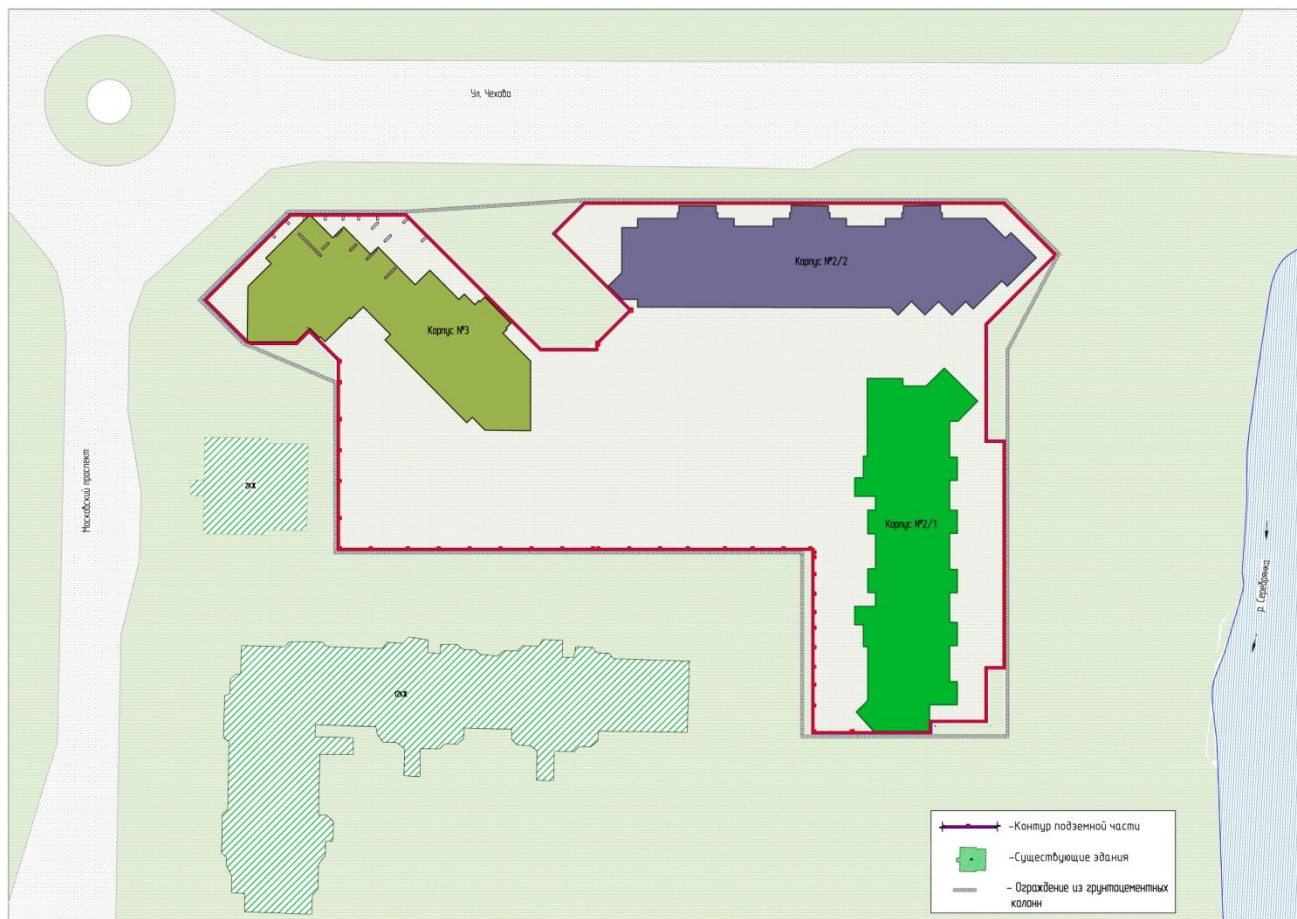


Рис. 1. Ситуационный план жилого комплекса в г. Пушкино.

{Надписи сделать крупнее, ограждение котлована выделить красным цветом, проектируемые здания – одним зеленым цветом, подземную часть – черным. Необходимо будет поправить легенду.}

Инженерно-геологические условия площадки

Исследуемая строительная площадка представлена относительно неровным рельефом с перепадом высот в 4,5 м. При инженерно-геологических изысканиях на площадке различными скважинами были вскрыты насыпные грунты, водонасыщенные мелкие пески, тугопластичные суглинки и мелкие пески с прослоями суглинка. Геологические условия площадки показаны на характерном разрезе на рис. 2.

Гидрогеологические условия характеризуются двумя уровнями водоносных горизонтов, с водовмещающими грунтами, представленными мелкими песками (ИГЭ б). Максимальный коэффициент фильтрации песков достигает 5 м/сек. В качестве водоупора был принят слой тугопластичных суглинков. Физико-механические характеристики грунтов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики грунтов

ИГЭ	Тип грунта	γ , кН/м ³	c , кПа	ϕ , град	E , МПа
1	Насыпной	20,9	3,3	13,0	10,0
2	Суглинок полутвердый	21,3	21,3	20,9	23,0
6	Пески мелкие	19,0	1,3	27,8	29,0
8	Суглинок тугопластичный	22,8	22,7	20,0	24,0
9	Пески мелкие	19,8	1,33	28,7	33,0

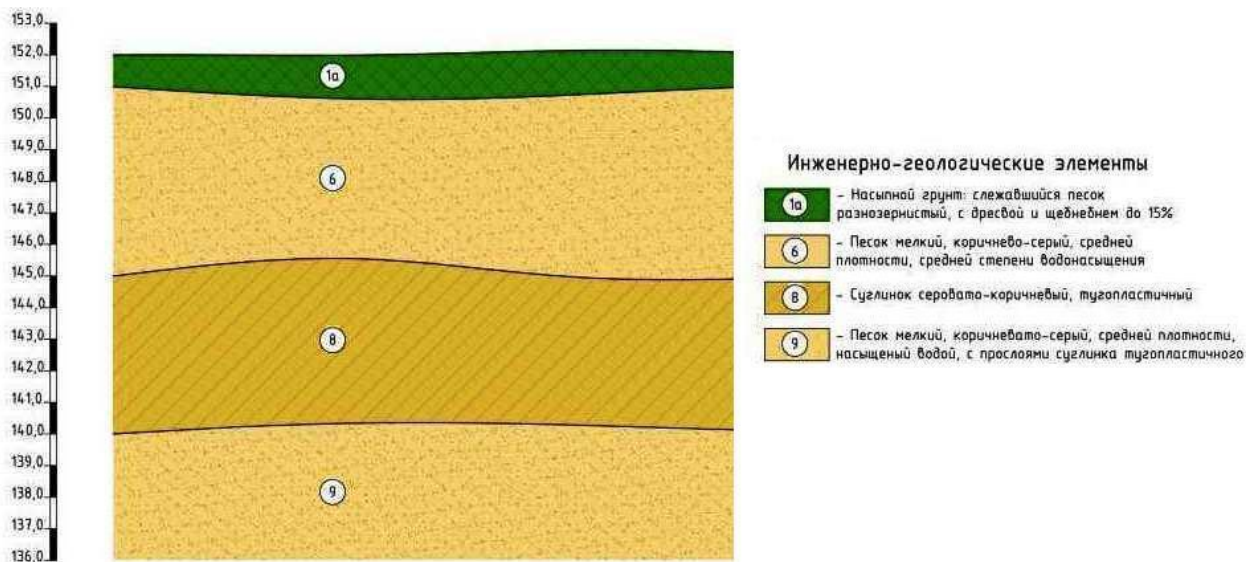


Рис. 2. Характерный инженерно-геологический разрез.

{Убрать. Лучше вставить разрез из проекта, сразу с котлованом, сваями и анкерами и с существующим зданием}

Ограждающая конструкция котлована

Сложностью для устройства котлована являлся высокий уровень напорных грунтовых вод, наличие близко расположенных 2-х и 12-ти этажных зданий, а также дорога с интенсивным движением.

В связи с этим компанией «ИнжПроектСтрой» предложена ограждающая конструкция из секущихся грунтоцементных свай диаметром 600-700 мм с шагом 500 мм.

Выбор в пользу технологии струйной цементации грунтов обусловлен рядом преимуществ: совмещением функции удерживающей конструкции и противофильтрационной завесы, высокая производительность устройства свай, а также невысокая стоимость работ.

Кроме того, данная технология имеет минимальное шумовое воздействие и отсутствие негативных вибраций при производстве работ, исключает суффозию грунта, т.к. сваи выполняются без выемки грунта и позволяет устраивать сваи практически в любых грунтовых условиях.

Ограждающую конструкцию из грунтоцементных свай возможно использовать также и для восприятия постоянных вертикальных нагрузок от здания.

Не маловажным фактором выбора технологи струйной цементации являлся успешное ее применение при устройстве котлована на другой стороне дороги.

Длина свай принималась на основании выполненных геотехнических расчетов исходя из условия обеспечения устойчивости борта котлована и заглубления свай в водоупорный слой на глубину не менее одного метра. В зависимости от участка длина свай составила 10,0-12,5 м.

Шаг свай определялся с учетом максимального отклонения свай на глубине не более 2%.

Применение струйной цементации требует правильного назначения прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента, так как технология предполагает устройство строительных конструкций из грунтов, залегающих в основании. Характеристики грунтоцементных свай приняты на основании результатов испытания грунтоцемента при устройстве свай в схожих грунтовых условиях, а также на основе рекомендаций, разработанных совместно с МГСУ [1] и данных различных исследователей [3, 4, 10] (табл. 2).

Таблица 2. Расчетные характеристики грунтоцементной сваи в зависимости от типа грунта

Тип грунта	Диаметр колонны, мм	Модуль деформации, МПа	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа
Насыпной	600	500	1,0	0,1
Суглинок	600	1000	2,0	0,1
Песок	700	3000	5,0	0,1
Глина	600	500	2,0	0,1

Геотехнические расчеты

При проектировании ограждения котлована перед конструктором стоит задача выбора оптимального решения. Для определения всех параметров окончательного варианта конструкции приходится выполнять серию расчетов. Конструктор должен выполнить расчеты разных типов ограждений, рассмотреть различные варианты креплений бортов котлована и дать оценку каждого из вариантов. Производить серию расчетов по десяткам расчетных схем в программах, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), является достаточно трудоемкой задачей. Поэтому оптимальным решением является сравнение различных схем в программах, основанных на инженерных методах расчета и уже после того, как останется одна-две расчетных схемы проверить и уточнить их в конечно-элементных программах [5].

Таким образом, расчет ограждения котлована подразумевает под собой комплексный расчет с применением инженерных и конечно-элементных программ.

Расчет на прочность и устойчивость ограждения котлована выполнен в программе GeoWall. Отличительной особенностью данной программы является возможность расчета ограждения из грунтоцементных колонн, как отдельного вида ограждающей конструкции. Результаты расчета изгибающего момента для одного из сечений приведены на рис. 3.

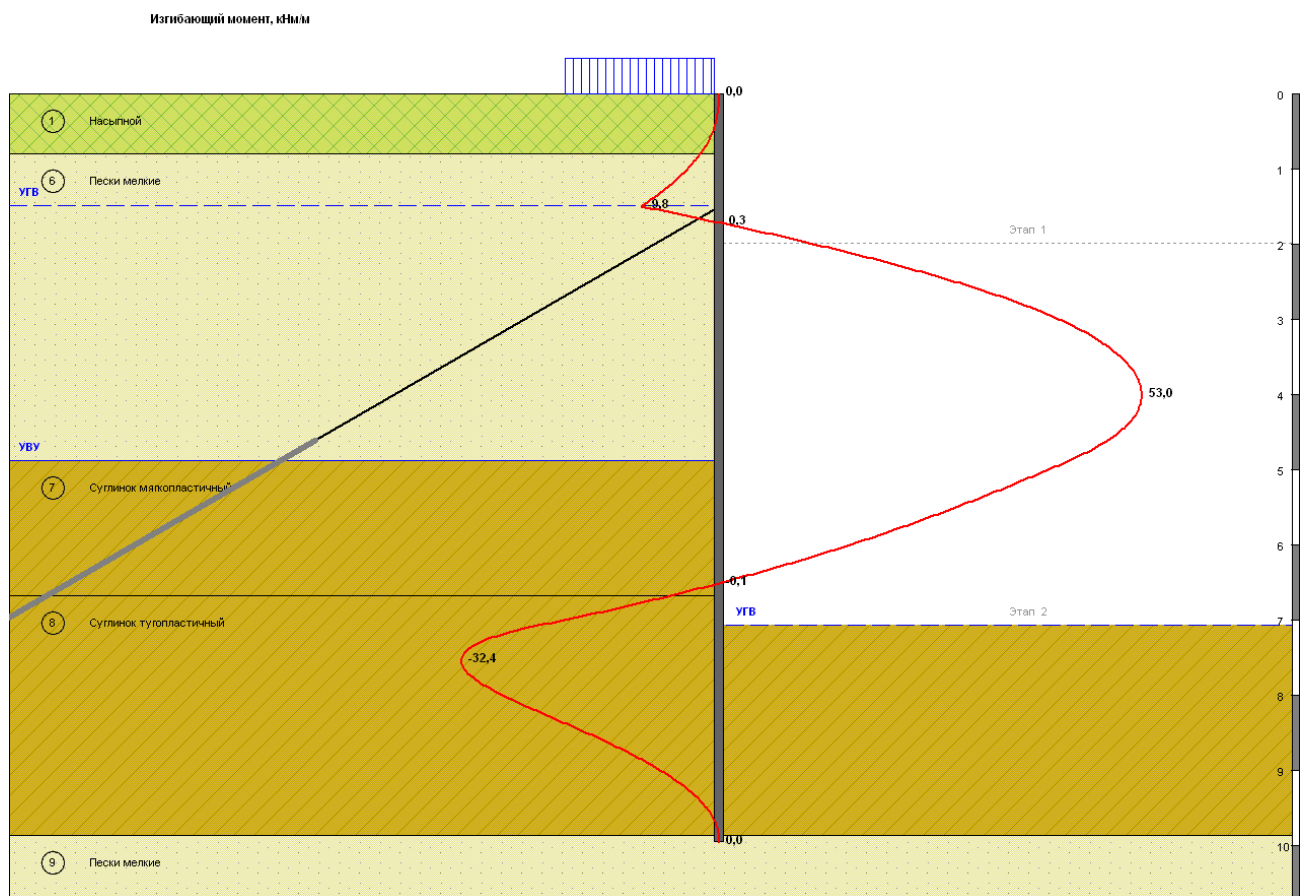


Рисунок 3. Изгибающий момент в ограждающей конструкции
{вставить разрез с 3-мя ярусами анкеров и зданием}

В расчетах учтены инженерно-геологические условия по различным скважинам, находящимся в пределах строительства, а также гидрогеологические условия площадки и этапность разработки котлована.

Уточнение принятого варианта конструкции и оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) выполнялась с помощью программы Plaxis 2D. В ней также выполнялась оценка влияния разработки котлована на окружающую застройку. {Если есть рисунок из Plaxis, было бы здорово его вставить}

Расчетные значения перемещений котлована составили 0,9 – 3,2 см.

Крепление котлована

Для крепления бортов глубоких котлованов применяют различные виды креплений: распорки, подкосы, грунтовые анкера. Распорки и подкосы обеспечивают надежное крепление котлована, но в тоже время осложняют производство работ в котловане, затрудняют разработку грунта и возведение элементов подземной части здания. Все это приводит к увеличению сроков строительства.

В целях ускорения сроков производства работ и обеспечения максимального пространства для устройства подземной части здания техническим решением выбран вариант анкерного крепления котлована. Количество ярусов анкеров составило от одного до трех. Длина анкеров варьируется от 13,5-16,0 м, диаметр корня анкера принят равным 150 мм.

По технологии устройства анкеров выбор сделан в пользу самозабуриваемых винтовых анкеров «Атлант» с диаметром анкерной штанги 57х6. Сущность технологии устройства данных анкеров заключается в совмещении операций бурения и цементации. Бурение выполняется полыми буровыми штангами, соединяемые между собой муфтами, которые по окончании бурения остаются в анкере в качестве армирующего элемента. После окончания бурения производится дополнительная опрессовка анкера густым цементным раствором через отверстия в буровой коронке.

Анализ мониторинга НДС ограждающих конструкций на участках крепления ненапрягаемыми анкерными сваями и предварительно напряженными анкерами, при соответствующих друг другу конструктивных параметрах отличаются незначительно [7]. В тоже время устройство таких анкеров без обсадных труб в обводненных и неустойчивых грунтах, отсутствие преднапряжения, низкие деформационные характеристики тяги определили выбор в пользу данных анкеров.

Для определения несущей способности анкеров «Атлант» по грунту были выполнены контрольные испытания анкеров. Согласно расчетам, рабочая нагрузка на анкер составляет 340 кН (шаг анкеров – 3,0 м). При этом, согласно положениям ВСН 506-88, временные анкера при испытаниях должны выдерживать нагрузку с коэффициентом запаса 1,25, т.е. равную в данном случае 425 кН.

Испытания проводились на анкерах длиной 15,0 и 16,0 м в соответствии с ВСН 506-88 и ГОСТ 5686-94. Испытания проводили спустя 25–30 суток после установки анкеров. Нагрузку на анкер прикладывали с помощью проходного гидравлического домкрата с максимальной нагрузкой 1600 кН. Перемещения концевой части анкера измеряли индикатором часового типа, установленным на независимо закрепленном штативе (рис. 4).



Рисунок 4. Вид испытательной установки

Нагружение анкеров производили ступенчато, с выдержкой нагрузки 10–15 минут до стабилизации перемещений и принятой испытательной нагрузки. Результаты испытаний приведены на рис. 5.

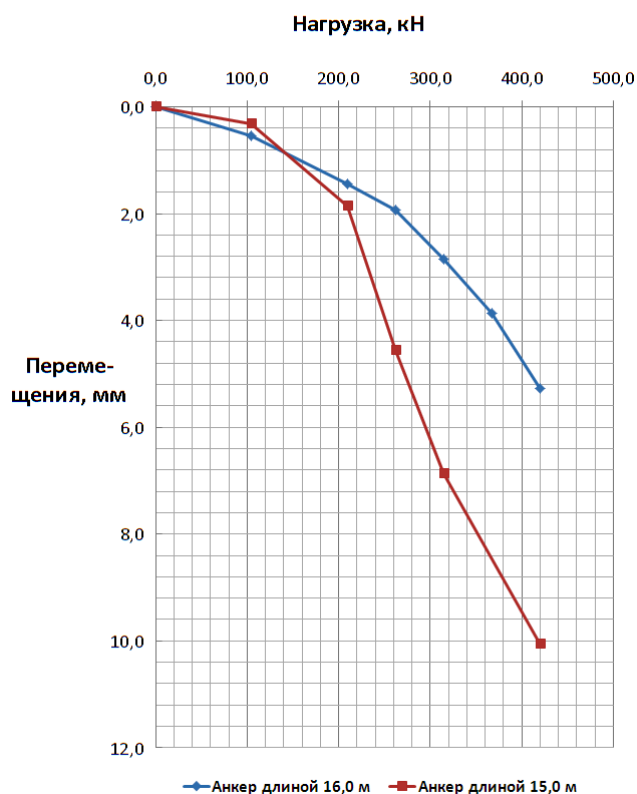


Рисунок 5. График испытаний анкеров выдергивающей нагрузкой

Следует отметить, оба анкера подтвердили требуемую несущую способность, однако перемещения анкера длиной 16,0 м оказались меньше в результате большей длины и того, что большая часть анкера располагалась в песчаном грунте.

Производство работ и контроль качества

Грунтоцементные сваи были выполнены в осенне-зимний период. На фотографиях (рис. 6, 7) показан этап устройства анкеров третьего яруса и откопанный котлован с возводимым подземным паркингом.



Рисунок 6. Устройство анкеров 3-го яруса (а) и откопанный котлован со зданием (б)

При производстве работ по устройству ограждающей конструкции выполнялся контроль сплошности и прочности колонн. Контроль сплошности осуществлялся при помощи ультразвуковых измерений. Измерения выполнялись через армирующие трубы грунтоцементных колонн, которые герметично закрывались с торцов, для исключения попадания в них цемента и воды. Измерения выполняются для каждой пары труб, в которые

Глубина, м	810	811	812	813	814	815	816
0							
-0,5							
-1							
-1,5							
-2							
-2,5							
-3							
-3,5							
-4							
-4,5							
-5							
-5,5							
-6							
-6,5							
-7							
-7,5							
-8							
-8,5							
-9							
-9,5							
-10							

Условные обозначения:

	- Уменьшение скорости прохождения волны больше чем на 20%
	- Уменьшение скорости прохождения волны меньше чем на 10%
	- исследование не проводилось

помещают излучающий и приемный зонд. Зонды перемещаются снизу вверх по длине колонны. При этом через равные интервалы по глубине излучающий зонд испускает нормированный для данной серии измерений акустический импульс и передает сигнал, поступающий на приемный зонд. По этой записи, в частности определяется «характерная» амплитуда сигнала и время прохождения волны между двумя зондами [9]. Для выявления дефектных зон производилось определение участков, на которых время прохода сигнала должно быть увеличено более чем на 20%, по сравнению со средними уровнями и уменьшена скорость прохождения волны более чем на 20%. На рисунке 7 приведены результаты ультразвукового исследования. Красным цветом отмечены участки, в которых скорость прохождения сигнала уменьшалась более, чем на 20%, соответствующие дефектным зонам.

Наличие таких зон указывает на нарушение сплошности и однородности грунтоцементных колонн. Для их устранения были выполнены дублирующие колонны с добавлением хлорида кальция (CaCl_2), который ускоряет схватывание цемента и уменьшает его вымывание при высоком напоре грунтовых вод.

{Добавить результаты испытаний грунтоцемента}

В процессе разработки грунта и ведения строительных работ одновременно проводился мониторинг за смещениями подпорной стены. Результаты измерений показали, что максимальное перемещение стены составило 2,7 см и соответствует расчетным значениям, приведенным выше.

Выводы

Технология ограждения котлована колоннами, устраиваемыми по технологии струйной цементации грунтов, на сегодняшний день является технологией, имеющей все необходимые предпосылки для широкого практического применения. Комплексный расчет, проектирование и, главное, технология сооружения колонн прошли реальную апробацию на достаточно сложном объекте. Это позволяет рекомендовать ее для строительства подземных объектов в условиях плотной городской застройки.

Список литературы

1. [Малинин А.Г. «Струйная цементация грунтов»](#)
2. Ильичев В.А., Готман Ю.А. Расчет размеров грунтоцементного массива по контуру котлована для снижения перемещения ограждения до требуемых величин методом оптимального проектирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. № 4. 2011.
3. Малинин А.Г., Гладков И.Л., Жемчугов А.А. Исследование прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента в зависимости от технологических параметров струйной цементации // Промышленное и гражданское строительство. №6. 2011.
4. [Малинин А.Г., Малинин П.А. Ограждение котлованов с помощью технологии струйной цементации грунта. Метро и тоннели. № 2. 2004.](#)
5. Малый И.М. Применение анкерных микросвай «Титан» для крепления ограждающих конструкций котлованов и подпорных стен на объектах транспортного строительства в г. Москвы // Сборник трудов конференции «Геотехнические проблемы мегаполисов», Том 4, М. 2010.
6. Шейнин В.И., Дзагов А.М., Блохин Д.И., Смилянский А.Л. Оценка качества и прочности бетона с использованием данных ультразвуковых испытаний // Основания, фундаменты и механика грунтов. № 4. 2012.
7. J.G.Wang. Effect of different jet-grouting installations on neighboring structures. Proceedings of the 5th international symposium on fields measurements in geomechanics. Rotterdam: Balkema. 1999.