

*Богов С.Г. (ЗАО НПФ «Геореконструкция-Фундаментпроект», СПб)
Зуев С.С. (ОАО «Нью Граунд», Пермь)*

**Опыт применения струйной технологии
для закрепления слабых грунтов при реконструкции здания
по ул. Почтамтская в г. Санкт-Петербурге**

Аннотация

Реконструкция старых и строительство новых зданий с развитым подземным пространством в плотной исторической застройке осложняется примыканием к площадке строительства существующих строений. В исторической части Санкт-Петербурга зачастую примыкающие сохраняемые здания являются памятниками истории и архитектуры, поэтому крайне важна надежность реализации проектных решений. В условиях исторического центра Санкт-Петербурга задача безопасного строительства зданий с развитым подземным пространством до настоящего времени фактически не была отработана.

Для устройства ограждений котлованов традиционно применяют шпунт или «стену в грунте». Низ ограждения должен заглубляться в слой прочных грунтов, служащих естественным водупором для исключения перемещений и обеспечения водонепроницаемости днища будущего котлована. В статье приводится положительный опыт по закреплению слабых грунтов для безопасного проведения работ по реконструкции исторических зданий.

ВВЕДЕНИЕ

Сложные инженерно-геологические условия Санкт-Петербурга, когда уровень подземных вод находится на глубинах 1,5-2м от поверхности, а естественный водоупор находится на значительных глубинах или отсутствует, делают устройство ограждения котлованов крайне дорогостоящим. Выполнение же водопонижения может негативно влиять на примыкающие сохраняемые здания.

С целью создания искусственного водоупора в последние годы успешно применяется технология струйной цементации грунтов «jet grouting». Эта технология позволяет создать надежный слой закрепленного грунта с заглублением в него сравнительно короткого шпунтового ограждения. При этом можно исключить развитие сверхнормативных деформаций межевых стен примыкающих зданий путем усиления грунтов основания фундаментов по струйной технологии [1].

Технология струйной цементации заключается в разрушении исходного природного грунта высоконапорной струями цементного раствора с одновременным перемешиванием его и частичным замещением цементным раствором. В результате в грунтовом массиве образуются колонны из композитного материала - цементогрунта, обладающего достаточно высокими прочностными и деформационными характеристиками.

Реализация данной методики реконструкции была успешно осуществлена в 2008 году при реконструкции комплекса зданий под офисно-гостиничный комплекс на Почтамтской улице в квартале между Исаакиевской площадью и Почтамтским переулком, в историческом центре Санкт-Петербурга. Участок нового строительства занимал территорию, ограниченную с южной стороны сохраняемыми фасадными корпусами по ул. Почтамтской, подлежащими реконструкции, с восточной, западной и северной сторон - сохраняемыми зданиями см. рис.1. Окружающая застройка представляла собой разновысотные кирпичные здания на ленточных бутовых фундаментах с глубиной заложения подошв -2,0-2,5м.

По проекту встраиваемое здание с размерами в плане 70,5 x 60,5м возводится на свайном фундаменте из буронабивных свай $\varnothing 450\text{мм}$ длиной 16м. В пятне нового здания предусмотрена встроенная подземная парковка «парк – сейфа» с размерами 50,8 x 21 м глубиной 7м. Расстояние от межевых стен сохраняемых зданий до контура котлована составляла от 6 до 14 м.

Разработка грунта в котловане в стесненных условиях при высоком уровне подземных вод вызывала необходимость устройства горизонтальной противофильтрационной завесы (ПФЗ).

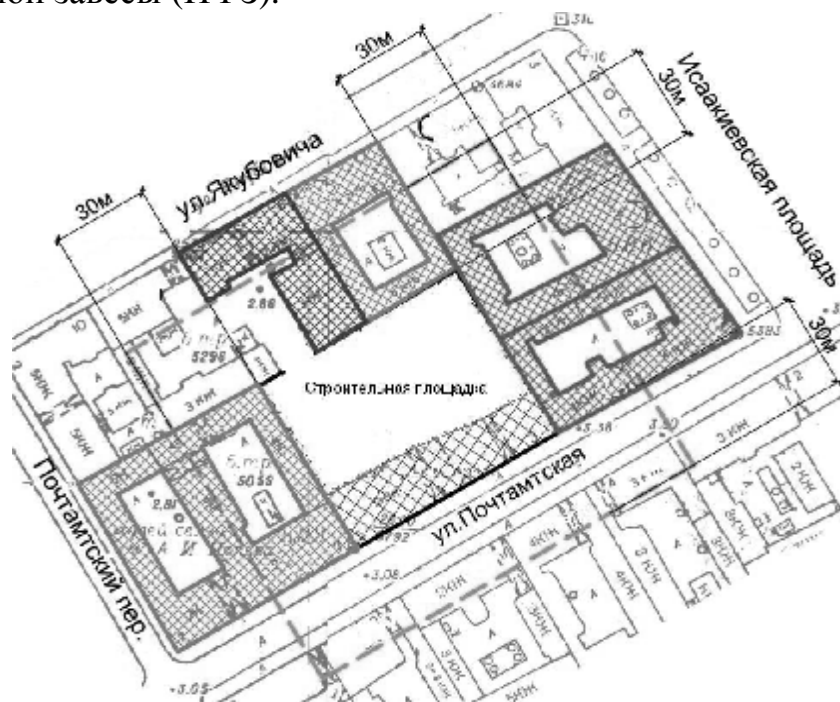


Рис. 1. Ситуационное положение площадки реконструкции

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПЛОЩАДКИ

В геологическом строении участка реконструкции до глубины 30 м принимают участие современные морские отложения, верхнечетвертичные отложения озерно-ледникового и ледникового генезиса, перекрытые с поверхности техногенными образованиями.

Инженерно-геологический разрез площадки был представлен грунтами характерными для Санкт-Петербурга. С поверхности залегали насыпные грунты представленные песками средней крупности и гравелистыми, влажными и

насыщенными водой со строительным мусором с примесью органических веществ. Мощностью слоя $\approx 2,5$ м. Ниже пески пылеватые, неоднородные и однородные, средней плотности, влажные и насыщенные водой, с редкими органическими остатками. Мощностью слоя до 4,6м. Супеси пылеватые и песчаные пластичные, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой с редкими органическими остатками. Мощностью от 0м до 4,5м. Глубина залегания кровли песков и супесей 9,1-10,5м от поверхности. Суглинки легкие пылеватые текучие, с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой, с редкими органическими остатками залегали слоем мощность 2,9-5,4м. Суглинки тяжелые пылеватые, ленточные и слоистые, текучие, с прослоями текучепластичных с прослоями песков пылеватых, насыщенных водой. Мощность 5,2-7,0м. Суглинки легкие пылеватые тугопластичные, с прослоями песков крупных, насыщенных водой, с редким гравием и галькой. Вскрытая мощность суглинков более 11,4м. Физико-механические свойства грунтов площадки реконструкции приведены в таблице №1.

Таблица 1. Физико-механические свойства грунтов

№ ИГЭ	Наименование грунта	Плотность грунта ρ , кН/м^3	Коэффициент пористости e	Влажность w	Показатель текучести I_L	Угол внутреннего трения $\varphi^{\text{II}}, ^\circ$	Сцепление c^{II} , кПа	Модуль общей деформации E , МПа
1	Насыпные грунты, tg IV							
2	Пески пылеватые средней плотности, m IV	19,3	0,75	Нас. водой	-	28	3	9,0
2а	Пески пылеватые плотные, m IV	21,0	0,55	Нас. водой	-	35	6	28,0
3	Супеси пластичные, m IV	20,9	0,55	0,20	1,00	25	15	9,0
4	Суглинки текучие, m IV	19,0	0,88	0,10	1,30	4	11	6,0
5	Суглинки ленточные и слоистые текучие с прослоями текучепластичных, lg III	18,3	1,05	0,14	1,21	8	10	6,0
6	Суглинки мягкопластичные, g III	20,0	0,68	0,10	0,60	10	14	12,0

7	Суглинки тугопластичные, g III	20,5	0,61	0,10	0,40	19	14	15,0
8	Суглинки полутвердые, g III	20,5	0,60	0,09	0,22	19	21	18,0

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОГО РЕШЕНИЯ

До начала погружения шпунта и устройства ПФЗ для реализации проектного решения с минимальными рисками для сохраняемых зданий фундаменты межевых стен были усилены рис.2 и 4.

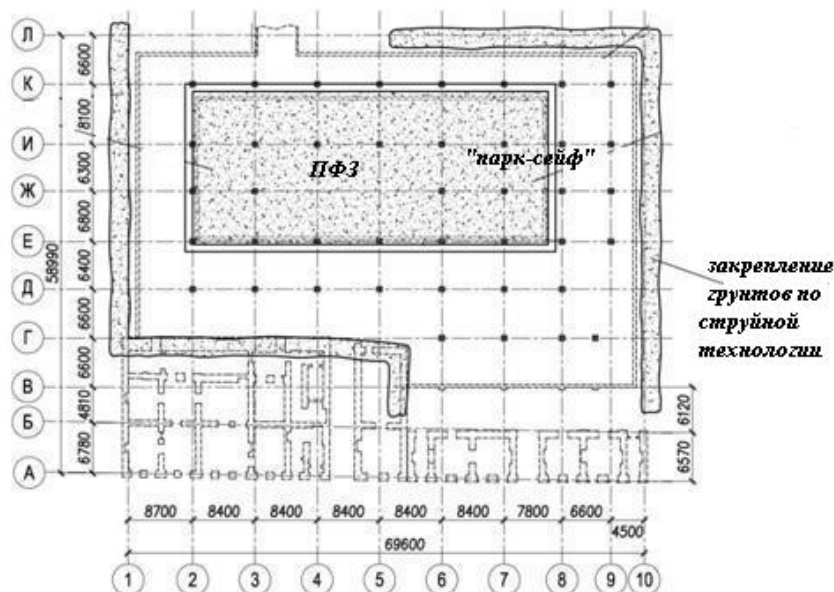


Рис.2. План закрепления грунтов. ПФЗ «парк-сейфа» и усиление фундаментов межевых стен существующих зданий.

С учетом устройства плиты ПФЗ ограждение котлована «парк-сейфа» было выполнено из короткого шпунта «Arcelor» длиной 12м.

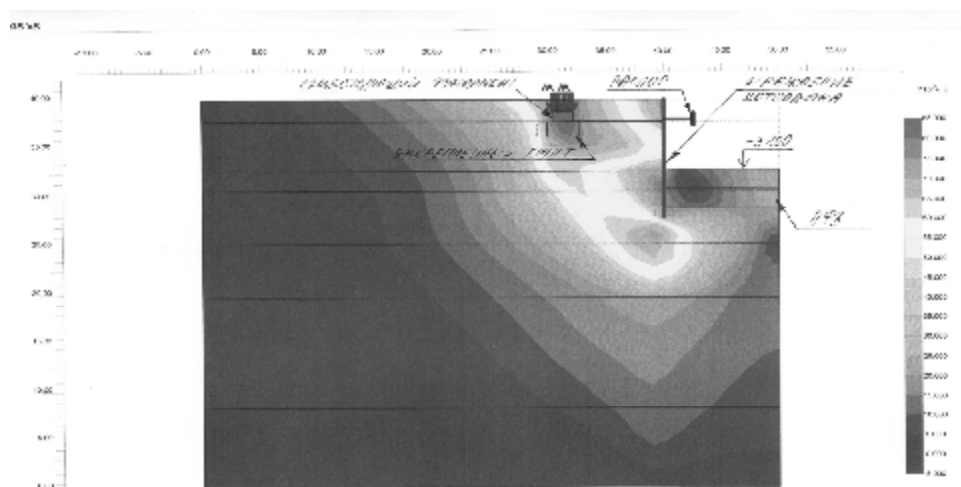


Рис. 3. Результаты моделирования этапов реализации проектного решения
Проведенной серией расчетов рис.3 было определено, что устойчивость короткого шпунтового ограждения при вскрытии котлована обеспечивается за

счет горизонтального раскрепления одним рядом распорок и плитой противofильтрационной завесы, создаваемой ниже уровня дна котлована.

Для реализации проектного решения по понижению существующих отметок площадки до уровня подошв фундаментов межевых стен существующих зданий было предусмотрено выполнить закрепление грунтов [1] под подошвами фундаментов межевых стен выходящих на строительную площадку. На первом этапе была выполнена укрепительная цементация кладки существующих бутовых фундаментов. Второй этап усиления включал закрепления грунтов путем создания цементногрунтовых столбов см. рис.4. Столбы, выполнялись в слое песчаных грунтов ИГЭ2 и ИГЭ2а.

Закрепления грунта под подошвами фундаментов межевых стен зданий осуществлялось с применением однокомпонентной технологии «Jet-1». Исходный грунт при извлечении из скважины перемешивался струёй раствора на основе портландцемента М400 с В/Ц отношением 0,8-0,9. Для стабилизации цементного раствора применялось последовательное введение добавок суперпластификатора С3 и жидкого стекла.

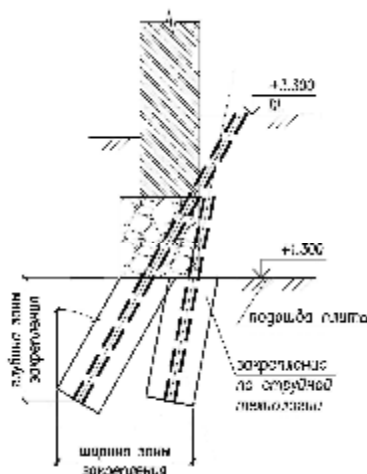


Рис.4. Принцип усиления фундаментов межевых стен по струйной технологии [1].

На глубине 10 м в слоях слабых пылевато-глинистых разностей: супесей пластичных, суглинков текучих и частично в слое пылеватых песков было предусмотрено устройство слоя закрепленного грунта – плиты противofильтрационной завесы. Закрепление слоев данных грунтов было разработано и реализовано одновременно как водозащитная и распорная конструкция. Созданный слой закрепленного грунта мощностью 2м позволяет обеспечить устойчивость шпунтового ограждения, являясь распоркой горизонтальной плитой ниже уровня дна котлована. Она также воспринимает гидростатическое давление подземных вод. По требованиям проекта создаваемый цементногрунтовый материал должен обладать прочностью не менее 4,5МПа с модулем деформации 450 МПа.

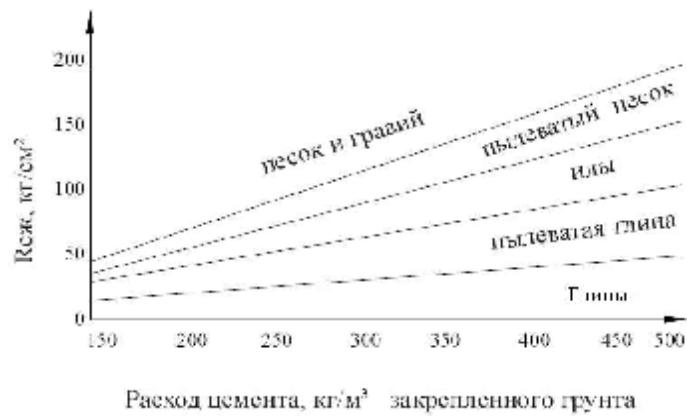


Рис. 5. Зависимость прочности цементогрунта от расхода цемента и вида закрепляемого грунта

Для достижения проектных значений jet-элементов диаметром 1,2м был определен расход 800 кг портландцемента М400 на 1 м.п. высоты элемента - по опыту работ на площадках с близкими инженерно-геологическими условиями [2,3,4]. ПФЗ выполнялась из отдельных секущих вертикальных jet-элементов. Устройство jet-элементов реализовывалось по шахматной сетке с ячейкой ≈0,9м. Устойчивость плиты ПФЗ от всплытия обеспечивалась весом плиты, пригрузом грунта в естественном залегании по верху плиты и анкерровкой. В расчете анкерровки ПФЗ учитывалось сцепление, с ранее выполненными по периметру «парк-сейфа», шпунтовым ограждением и буронабивными сваями. Дополнительно при устройстве плиты ПФЗ выполнялись отдельные jet-элементы длиной анкерной части 3,0м. Шаг в плане этих анкерных jet-элементов по расчету составил 5м.

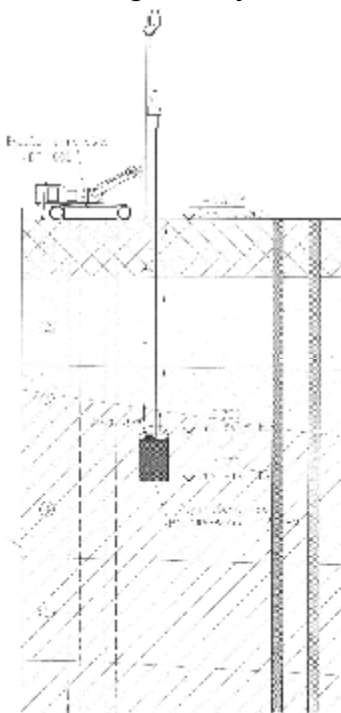


Рис. 6. Устройство jet-элементов ПФЗ

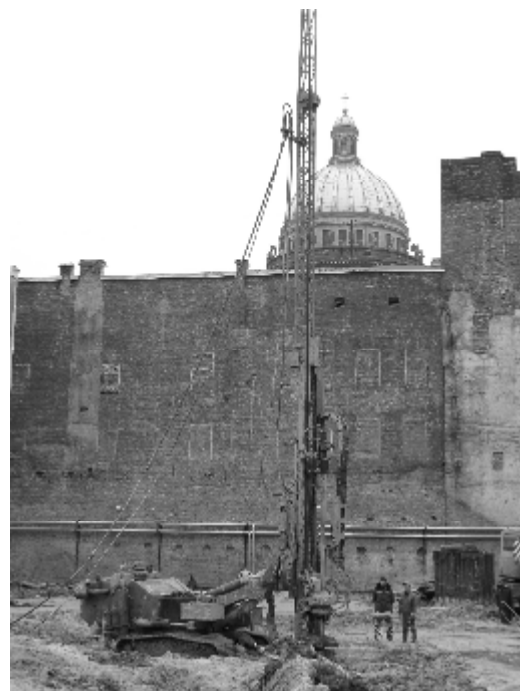


Фото 1. Устройство jet-элементов ПФЗ установкой MDT 160

Закрепление грунтов для устройства ПФЗ выполнялось по двухкомпонентной технологии струйной цементации «Jet-2». Для этого использовалось следующее оборудование: бурение скважин производилось установкой MDT 160 (рис.6), приготовление раствора осуществлялось в автоматической миксерной станции TWM 20. Нагнетание цементного раствора под давлением порядка 45МПа производилось насосом TWS 400/S, воздух подавался компрессором «Atlas Copco». Плита ПФЗ площадью 1220 м² была выполнена фактически за 75 дней. Контроль качества выполненной ПФЗ включал бурение контрольных скважин и отбор 15 кернов по всей толщине закрепленного слоя. Отбор кернов осуществлялся более чем через 30 суток после окончания работ на участке. Извлекаемые керны оценивались визуально на однородность и сплошность закрепления. По данным лабораторных испытаний предел прочности на сжатие кернов цементогрунта, отобранных из ПФЗ варьировал от 5,7 до 7,4МПа.

По результатам испытаний кернов средняя прочность композитного материала созданного под подошвами фундаментов межевых стен зданий составляла 13,3МПа, максимальные значения достигали -21,83 МПа, среднее значение модуля упругости образцов цементогрунта составляло 854 МПа. В процессе ведения всех работ на площадке проводился геодезический мониторинг за осадками фундаментов существующих зданий. Результаты геодезического мониторинга рис.7 показали, что осадки фундаментов примыкающих зданий находились в пределах требований ТСН 50-302-2004.

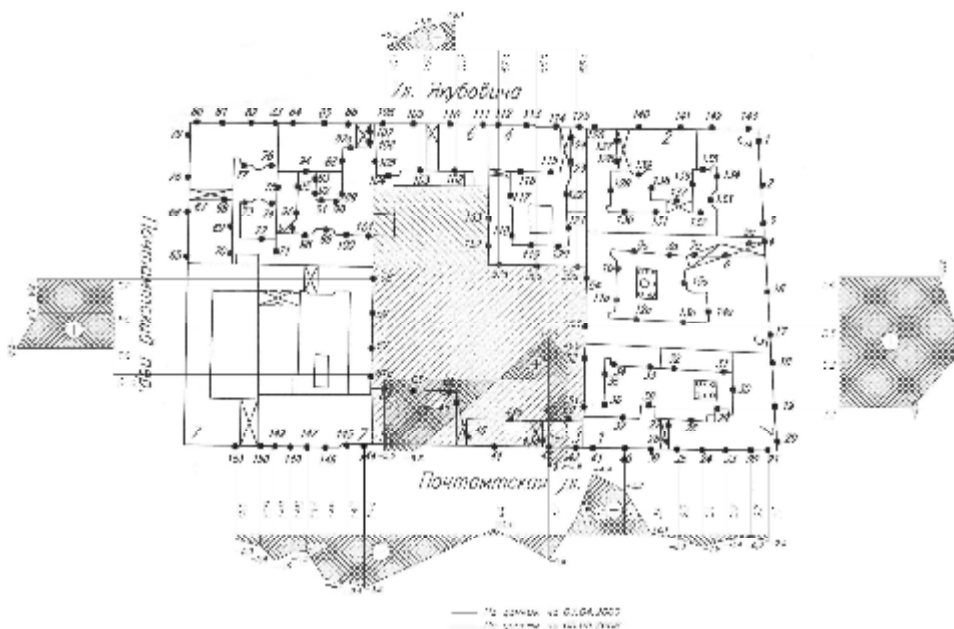


Рис.7. Эпюры осадок сохраняемых зданий на апрель 2009г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе откопки котлована, созданная противofильтрационная завеса с использованием струйной цементацией обеспечила водонепроницаемость днища котлована (фото 2 и 3), что подтвердило адекватность проектных решений.

Комплекс специальных работ по струйной цементации грунтов оснований межевых стен и устройству искусственного слоя ниже дна котлована позволил произвести разработку грунта в котловане в условиях обводненных грунтов, стесненной стройплощадки и обеспечить защиту соседних зданий от возможных опасных деформаций.



Фото 2. Вскрытый котлован «парк-сейфа». Ведение работ по бетонированию.



Фото 3. Общий вид котлована «парк-сейфа».

ЛИТЕРАТУРА

1. Улицкий В.М., Богов С.Г. Комплексное использование струйной технологии для целей реконструкции на слабых грунтах. Реконструкция Санкт-Петербурга – 2005. Материалы 3^{-го} международного симпозиума 16-20 мая. СПб.1995.
2. Богов С.Г. Опыт усиления фундаментов старых зданий с использованием струйной технологии.//Основания, фундаменты и механика грунтов. -2007.-№3.
3. Зуев С.С. Закрепление водонасыщенных пылевато-глинистых грунтов при усилении основания фундаментов//Материалы академических чтений по геотехнике и Международного совещания заведующих кафедрами механики грунтов, оснований и фундаментов,

подземного строительства и гидротехнических работ, инженерной геологии и геоэкологии строительных вузов и факультетов, 22-23 ноября 2006, г. Казань.

4. Зуев С.С. Опыт усиления аварийного основания фундаментов здания в плотной городской застройке в г. Москве//Межвузовский тематический сборник трудов «Актуальные научно-технические проблемы современной геотехники», Санкт-Петербург, 2009 г.