

Опыт армирования слабых грунтов в основании фундаментных плит с применением струйной геотехнологии

О.А. Маковецкий, С.С. Зуев
ОАО «НЬЮ ГРАУНД», г. Пермь, Россия

АННОТАЦИЯ: В последнее время стало актуальным строительство зданий на фундаменте из монолитной железобетонной плиты, однако, не всегда основанием такого фундамента служат грунты с достаточным сопротивлением. В этом случае в практике строительства применяется предварительное закрепление толщи «слабых» грунтов основания. В основании проектируемой фундаментной плиты создается искусственный геомассив из грунтоцементных элементов с повышенными прочностными и деформационными характеристиками.

Наиболее значительная часть деформаций уплотнения (осадок) развивается в зоне непосредственно под фундаментом, на глубинах 4-6 м. Исходя из этого, предлагается улучшение физико-механических характеристик грунта по методу устройства геомассива с устройством в основании фундамента грунтоцементных элементов. При устройстве грунтоцементных элементов диаметром 1,2...1,5 м с шагом осей 2,5-2,8 м деформативные характеристики такого геомассива становятся более высокими и достигают значений: модуль общих деформаций $E = 20...40$ МПа, по сравнению с природными значениями 3,5...5 МПа.

Технология струйной цементации грунтов позволяет контролировать зоны уплотнения основания, и модифицировать его свойства на оптимальную глубину.

Опыт использования этой технологии показывает, что при этом распределение напряжений в массиве грунта происходит более равномерно, по сравнению с применением точечных забивных свай.

Применение данного варианта устройства основания здания позволит достичь развития равномерных осадок и как следствие, более благоприятной работы всех несущих конструкций здания.

Сущность струйной геотехнологии заключается в разрушении грунта с одновременным его перемешиванием высоконапорной струей раствора, как правило, цементно-

го. В результате в грунтовом массиве образуются цилиндрические колонны из нового материала – грунтоцемента, обладающего высокими прочностными, деформационными и противодиффузионными характеристиками. В зависимости от типа грунта и вида технологии диаметр грунтоцементных свай составляет от 600 до 2000 мм.

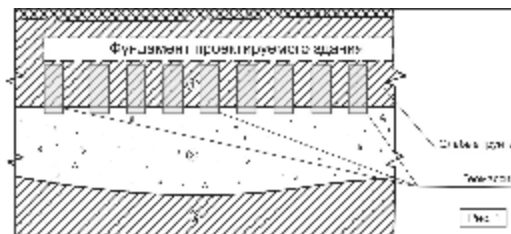


Рис. 1. Схема закрепления грунтового основания грунтоцементными элементами

Геомассив создается из грунтоцементных колонн расположенных, как правило, в шахматном порядке. Для выбора шага грунтоцементных свай производятся геомеханические расчеты с применением различных программ.

Закрепление грунтов в основании проектируемой фундаментной плиты при строительстве торгового центра «Кольцо» по ул. Петербургская, 55 в г. Казани.

При строительстве здания по ул. Петербургская, 55 в г. Казани была запроектирована и выполнена фундаментная плита на искусственном основании. Размеры плиты

85х65 м, толщина – 1,1 м.

Геологический разрез представлен (сверху-вниз):

- насыпной грунт с включениями строительного мусора, супеси и суглинков, мощностью 5-8,5 м.

- суглинок мягкопластичный, мощностью 2м.

- супесь пластичная, мощностью 3,75-5 м.

- песок пылеватый водонасыщенный, мощностью 0,9-2,8 м.

- песок мелкий водонасыщенный, мощностью 5 м.

- песок средней крупности водонасыщенный, мощностью 8 м.

Установившийся уровень грунтовых вод – 4-4,6 м от поверхности земли.

Физико-механические свойства грунтов приведены в таблице 1.

Табл. 1

Грунт	E, МПа	C, кПа	φ, градус
Насыпной грунт			
суглинок мягкопластичный	13	-	-
супесь пластичная	19	-	-
песок пылеватый	25	-	-
песок мелкий	23	-	-
песок средней крупности	40	-	-

Для повышения физико-механических свойств насыпного грунта и суглинка были запроектированы грунтоцементные сваи диаметром 1600 мм, с шагом 3,5 м, длиной 4 м. Проектные геомеханические характеристики материала грунтоцемента: Rсж=3.5 МПа, E=340 МПа, коэффициент Пуассона - 0,35 (рис. 2).



Рис 2. Вид закрепленного грунта.

Работы по устройству грунтоцементных

элементов выполнялись по двухкомпонентной технологии с применением сжатого воздуха. При выполнении работ применялось следующее оборудование: буровая установка Raptor TWS1400, насос TW400/S и миксерная станция TWM20, сжатый воздух подавался компрессором Atlas Copco. (рис.3).



Рис 3. Производство работ на стройплощадке

В результате проведенных работ по армированию грунтов, приведенный модуль деформации грунтов повысился до E=60 МПа.

Закрепление грунтов основания фундаментной плиты при строительстве жилого дома по ул. М. Никитская, 15, стр.1 в г. Москва.

Объект строительства в целом представляет собой 7-ми этажный жилой дом с 2-уровневым подземным гаражом. Фундамент – монолитная ж/б плита.

Инженерно-геологический разрез площадки следующий (сверху-вниз):

ИГЭ-1. Насыпной грунт (песок со строительным мусором). Мощность 2,5-4,0м.

ИГЭ-8 Суглинки с прослойками песка, тугопластичные. Мощность от 0,0 до 1,3м.

ИГЭ-2. Пески средней крупности глинистые с гравием, рыхлые с линзами песков средней плотности (ИГЭ-3), маловлажные, влажные, водонасыщенные. Мощность – 7,7-8,4м.

ИГЭ-9. Глина пылеватая тугопластичная. Мощность – 1.3-3.0м.

ИГЭ-10. Глина пылеватая полутвердая. Мощность – 2,3-6.3м.

ИГЭ-12. Глина пылеватая твердая. Мощность – 0.0-4.0м.

ИГЭ-13. Известняк разрушенный до состояния щебня и известковой муки низкой прочности, водоносный. Вскрытая мощность – 1,2-1,5м.

Физико-механические свойства грунтов приведены в таблице 2

Табл. 2

Грунт	E, МПа	C, кПа	φ, градус
Насыпной грунт			
Суглинок тугопластичный	30	19	14
Пески средней крупности рыхлые	18	0	30
Пески средней крупности, средней плотности	30	0	34

Глина тугопластичная	18	48	18
Глина полутвердая	26	59	20
Глина твердая	42	83	21

Для обеспечения деформаций основания и фундамента в допустимых пределах, строительными решениями было предусмотрено устройство искусственного основания - геомассива с улучшенными прочностными и деформационными характеристиками. Геомассив представлял собой природный грунт, равномерно армированный жесткими элементами из грунтоцементных элементов диаметром 600-750 мм (рис 4).

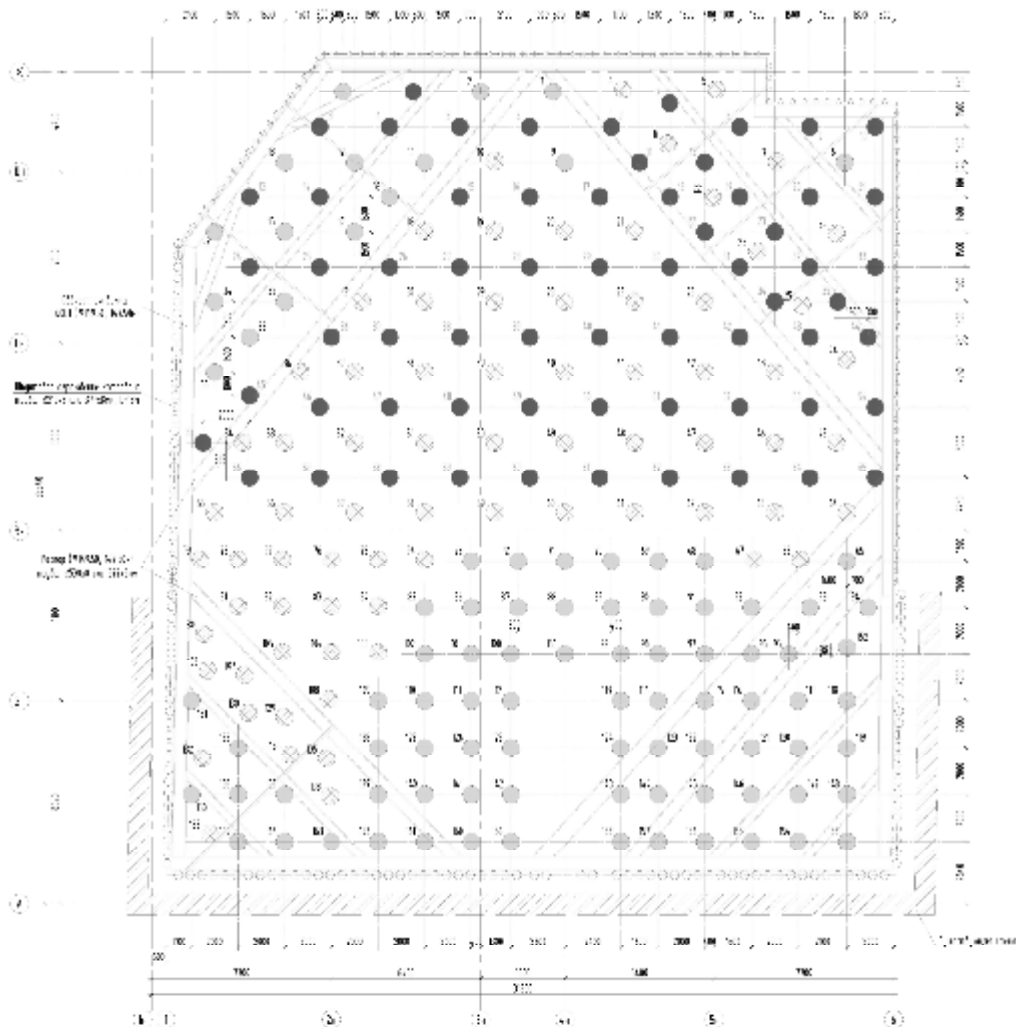


Рис. 4. Размещение грунтоцементных элементов в плане.

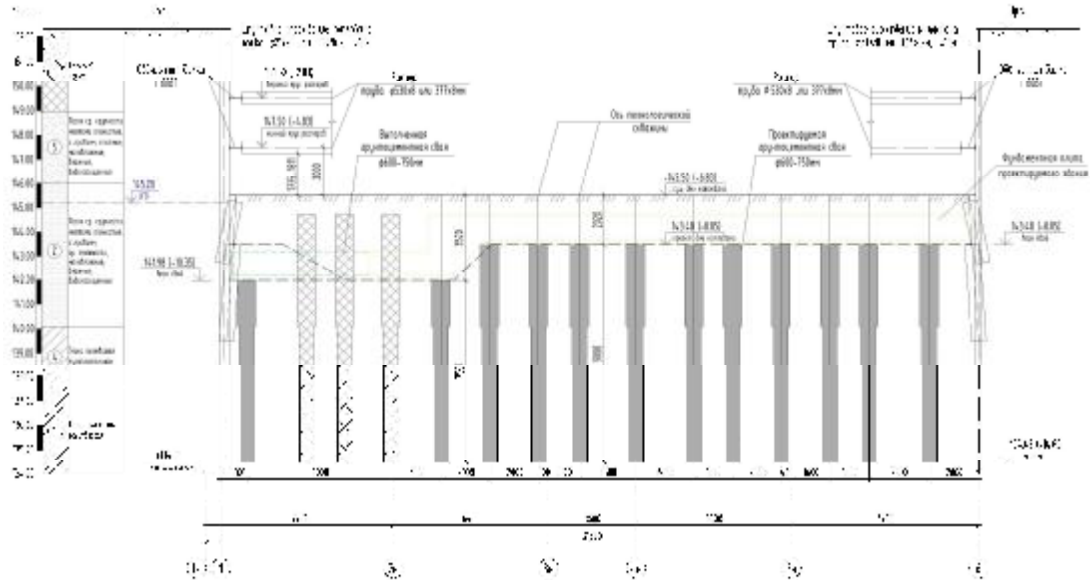


Рис. 5. Разрез грунтового основания армированного грунтоцементными элементами

В данном случае, грунтоцементные элементы (сваи) работали в едином массиве с окружающим грунтом под всей подошвой плиты и не рассматриваются как свайный элемент, передающий острием нагрузку на нижележащие слои (рис 5).

Грунтоцементные элементы изготавливались по однокомпонентной схеме - «JET-1». Бурение технологических скважин осуществлялось переносной установкой УКБ 12/25 с высотой станины 2 м, что было вызвано ограниченностью по высоте (на высоте 2 м проходили распорные трубы). При выполнении работ применялось следующее оборудование: насос TW400/S, миксерная станция TWM20, силос TWSilo30.

Проходка контрольных скважин осуществлялась через 28 суток после устройства грунтоцементных свай. Количество контрольных скважин – 3 шт. Глубина скважин – 10 м.

Из каждой скважины отбирались образцы (керны) грунтоцемента. Извлекаемые при бурении керны описывались, одновременно визуально оценивалось качество и сплошность закрепления. Отобранные

образцы обертывались во влажную марлю, герметично упаковывались в полиэтиленовый пакет и отправлялись в строительную лабораторию.

Прочностные характеристики грунтоцемента составили 4,6-7,4 МПа.

На объекте велся постоянный мониторинг за состоянием зданий окружающей застройки. Фактические величины осадок фундаментной плиты подтверждают полученные в проекте расчетные величины.

Закрепление грунтов в основании фундаментов здания по ул. Суцневский Вал., 16 в г. Москва.

Здание 12-ти этажное, административного назначения, возведено в 2007 г. Уровень ответственности здания – II.

В плане имеет форму прямоугольника с габаритными размерами в осях 21,65x15,58м, без подвала.

По конструктивной схеме здание с железобетонным каркасом, вмурованным в кладку стен.

Наружные стены – кирпичные, толщиной 51см.

Междуэтажное и чердачное перекрытия – монолитные железобетонные.

Крыша – стропила из двутавра №14.

Кровля – профилированный лист, с внутренним водостоком.

Фундамент - монолитная железобетонная плита толщиной 500 мм с ребрами (ростверками) под наружными и внутренними стенами) на свайном основании.

Глубина заложения подошвы плиты – 0,1-0,25м от поверхности земли, ростверков – 2 м.

Сваи буронабивные, согласно исполнительной схеме и материалам обследования:

- количество свай в фундаменте – 28шт;

- диаметр свай – 320 мм, длина - не более 3-5м (вместо 15м по проекту), с максимальной несущей способностью не более 50т.

- шаг свай - 3,13x4,29м;

Нагрузка, приходящая на каждую сваю от 300 до 350 т, делает ее неработоспособной как по грунту, так и по материалу.

Фундамент работает как плита на естественном основании. Среднее давление по подошве плиты – 2,23 т/м² (мах – под лестничной клеткой и лифтовой шахтой – 2,8т/м²)

По результатам геодезических наблюдений, выполненных в период с 19.12.07г. по 16.01.08 г. установлено: здание имеет общий крен в сторону оси «Д», что подтверждалось:

- отклонением от вертикали наружных стен по осям «А» и «Д» в уровне парапетов от 370мм до 494мм (соответственно).

- неравномерностью осадки марок, установленных в цокольной части здания (за 29 дней наблюдений осадка марок составила: по оси «Д» - 5,4мм-11,7мм, по оси «А» - 0,8мм).

Состояние фундамента и основания оценивалась как остро аварийное.

Здание эксплуатируется, оборудовано центральным отоплением, холодным и горячим водоснабжением, канализацией, электричеством.

Территория вокруг здания благоустроена с асфальтовым покрытием.

В дальнейшем вблизи здания, на минимально возможном расстоянии, планируется строительство 3-х уровневое подземного автопаркинга с отметкой дна котлована - 12,25м. Строительство будет вестись методом «стена в грунте».

По данным ранее выполненных изысканий и разведочного бурения, основание

фундаментной плиты представлено следующими грунтами (сверху вниз):

ИГЭ-1. Насыпной грунт (асфальт, песок, суглинок, строительный мусор, древесина, ил, торф). Мощность слоя не выдержана и увеличивается от 0,4-0,5м (по оси А) до 4,6м (по оси Д).

ИГЭ-2. Супесь пластичная оторфованная с прослоями торфа.

ИГЭ-3. Суглинок тугопластичный местами мягкопластичный с прослоями торфа, супеси пластичной, песка средней крупности водонасыщенного.

ИГЭ-3а. Супесь пластичная с прослоями суглинка тугопластичного, песка.

Суммарная мощность грунтов ИГЭ-2, ИГЭ-3, ИГЭ-3а - от 0,6 до 3,2м.

ИГЭ-4. Торф от слабо до сильноразложившегося с прослоями супеси, суглинка, водонасыщенный. Мощность торфа не выдержана в плане и увеличивается от 2,0-3,5м (по оси А) до 4,3-5,3м (по оси Д). Глубина залегания: кровли слоя - 1,4 -3,3м (от подошвы плиты), подошвы слоя - 3,5-9,3м.

ИГЭ-10. Песок пылеватый средней плотности с прослоями песка мелкого, супеси пластичной, глинистый водонасыщенный.

ИГЭ-11. Песок средней крупности, средней плотности с прослоями песка крупного и суглинка, с включением крупного гравия и гальки, водонасыщенный.

Суммарная мощность песков ИГЭ-10, ИГЭ-11 - от 7,0 до 12,8м.

ИГЭ-14. Суглинки юрские полутвердые с прослоями супеси пластичной, глины, песка. Вскрытая мощность - 2,5-3,7м.

Физико-механические свойства грунтов приведены в таблице 3.

Табл. 3

Грунт	E, МПа	C, кПа	φ, град
Супесь пластичная оторфованная	16	0,21	21
Суглинок тугопластичный	17	0,34	20
Супесь пластичная	18	0,16	22
Торф от слабо до сильно разлож.	5,2	0,27	11
Песок пылеватый средней плотности	18	0,03	30
Песок средней крупности	32	0	35
Суглинок полутвердый	26	0,53	22

Непосредственно основанием фунда-
ментной плиты служит насыпной грунт с
условным расчетным сопротивлением до
1,1кг/см².

Грунтовые воды в сентябре 2005г.
вскрыты на глубине 3,6-3,7м от поверхности
(абс. отметки 154,41-154,78м). Расчетный
уровень - на 1,0м выше замеренного. Воды
агрессивными свойствами не обладают.

Площадка является безопасной в карсто-
во-суффозионном отношении

Для обеспечения несущей способности
фундамента и прекращения развивающегося
крена здания, проектом предусмотрено
устройство искусственного основания -
«геомассива» на глубину 12,75м ниже подошвы фундаментной плиты (относительная
отметка -13,250м).

Мощность «геомассива» принята из ус-
ловия:

- заглубления ниже подошвы торфа,
- заглубления на 1,0м ниже дна котлована
проектируемого подземного автопаркинга
(отметка дна - 12,250м).

«Геомассив» представляет собой природ-
ный грунт, равномерно армированный
жесткими элементами из грунтобетонных
столбов диаметром:

- 600мм (в насыпных грунтах и суглин-
ке);
- 700мм (в песках);
- 1000мм (в торфе).

Грунтобетонные столбы изготавливаются
по технологии струйной цементации грун-
тов «Jet grouting» по однокомпонентной
схеме - «Jet -1» (Рис. 6).

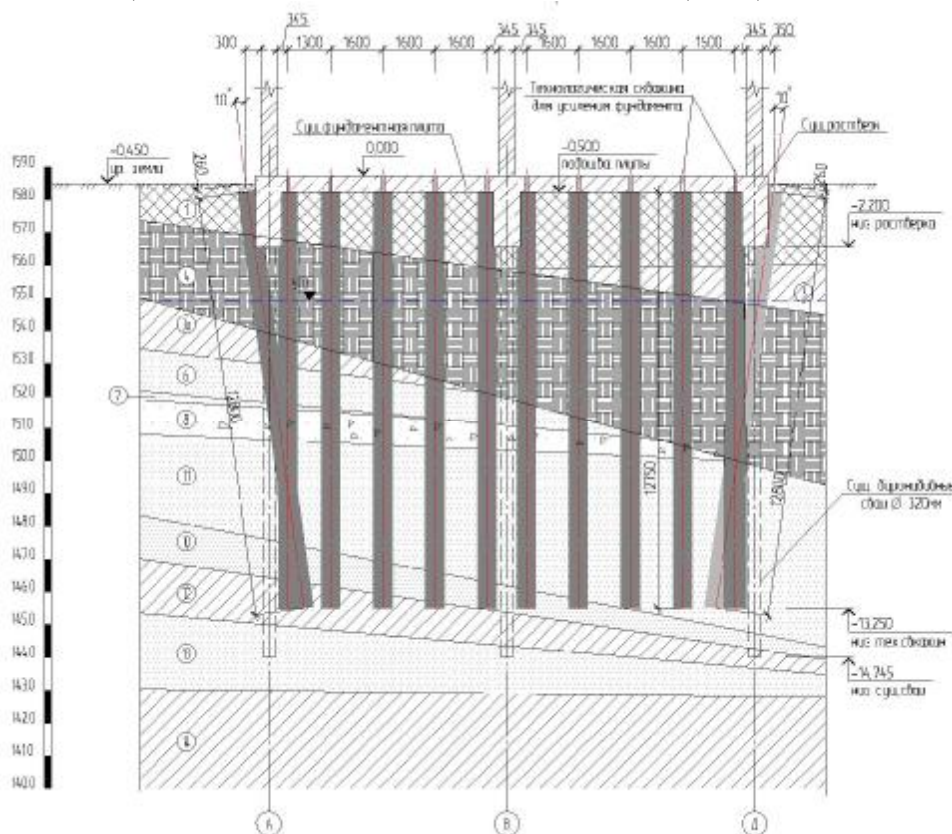


Рис. 6. Разрез грунтового основания усиленного грунтоцементными элементами

Технологические параметры цементации:
- раствор цементный с В/Ц = 0,8, плот-
ность с = 1,59 г/см³.
- расход цемента на 1 п.м грунтобетонно-
го столба:

- верхний интервал до кровли торфа (на-
сыпные, песок, супеси, суглинки) - 250кг
(885кг на 1м³ закрепленного грунта).
- средний интервал (торф) - 800кг (1020кг
на 1м³ закрепленного грунта).
- нижний интервал - (пески) - 190кг (500г
на 1м³ закрепленного грунта).

- рабочее давление подачи раствора – 450 атм.
- количество сопел – 2шт.
- диаметр сопел – 2,2мм.
- высота ступени подъема струйного монитора - 40 мм.

Для исключения образования «зазора» между грунтобетонным столбом и подошвой плиты в результате оседания жидкого грунтоцементного материала в процессе твердения, предусмотрена опрессовка верхней зоны грунтобетонного столба.

Расчетная прочность материала грунтобетонных столбов составляла:

- в торфе $R_{сж28}=1,5\text{МПа}$;
- в насыпных грунтах и суглинке $R_{сж28}=3,0\text{МПа}$,
- в песках $R_{сж28}=7,0\text{МПа}$.

В процессе работ осуществлялся мониторинг за деформациями фундаментов и состоянием несущих конструкций дома.

Мониторинг предусматривал системы визуальных и инструментальных наблюдений.

Система визуальных наблюдений включала в себя:

- Визуальный осмотр состояния несущих конструкций здания;
- Фиксация трещин в конструкциях (установление их направления, протяженность, величины раскрытия, установка маяков и систематическое ведение журнала наблюдений за ними).

Инструментальные наблюдения включали:

- Маяки, установленные на трещинах.
- Системы геодезического контроля, включающей деформационные марки, расположенные на здании, репера и измерительную аппаратуру;
- Системы деформационного контроля для фиксации наклонов стен здания.

Перед началом производились опытные работы. С улицы на возможно близком расстоянии от здания работ выполнялся опытный грунтобетонный столб на глубину 12,75 м с соблюдением проектных технологических параметров.

Через трое суток в теле столба бурились 2 скважины. Местоположение скважин: 1-я скважина - по оси столба, 2-я - на расстоянии 400 мм от оси.

Бурение осуществлялось колонковым способом диаметром 93-112мм с отбором

керна по всей длине столба, визуально оценивая качество закрепления грунта: однородность материала столба и прочностные характеристики грунтобетона (особое внимание обращалось на слой торфа и насыпные грунты).

Работы по усилению основания фундаментов выполнялись с применением импортного оборудования: высоконапорный насос TW-400, миксерная станция TWM-20, силос TWsilo (Италия) и малогабаритная буровая установка СБГ-ПМ2 «Стерх» и Drill-450.

Перед устройством свай в плите алмазным бурением выполнялась скважина $D=112$ мм, затем производилось бурение скважины до проектной отметки и формирование тела грунтобетонной сваи.

Всего в основании фундаментной плиты было выполнено 192 грунтобетонной сваи глубиной 12,75 м и выполнена опрессовка контакта свая-плита.

Контроль показателей качества грунтобетона заключался в проверке соответствия проекту прочностных характеристик материала грунтобетона и закрепленного грунта.

Проходка контрольных скважин осуществлялась через 14 дней после окончания работ по устройству свай. Количество контрольных скважин – 3 шт. Глубина скважины – 13 м. Контрольное бурение выполнялось колонковым способом с отбором керна, который затем испытывался на определение прочности на сжатие.

Работы по усилению основания фундаментов здания производились в стесненных условиях с пола первого этажа при высоте потолка 2,7 м. Практически другими методами было бы сложно выполнить усиление основания в данных условиях, а с помощью струйной геотехнологии сложная инженерно-техническая задача была решена с успехом. В результате выполненных работ были остановлены неравномерные осадки здания, а затем специализированной организацией был выправлен крен здания с помощью домкратов. Работы по усилению основания фундаментов производились без остановки эксплуатации здания, со второго по двенадцатый этаж продолжали функционировать офисы.

Выводы. Опыт выполненных объектов подтверждает возможность использования струйной геотехнологии для устройства

фундаментов на искусственном основании с высокой степенью надежности.

Применение струйной цементации грунтов позволяет улучшить деформативные характеристики грунтов, но что более существенно, сделать их более однородными в пределах пятна застройки здания. При этом существенно снижается вероятность развития неравномерных осадок, и как следствие появление дефектов и повреждений надфундаментных конструкциях

ЛИТЕРАТУРА

Богов С.Г. Исследование прочностных свойств грунтов, закрепленных цементными растворами по струйной технологии. Реконструкция городов и геотехническое строительство, №1/2000, стр. 35-45.

Богов С.Г. 2000. Исследование прочностных свойств грунтов, закрепленных по струйной геотехнологии. Некоторый опыт строительства на слабых грунтах. Интернет-журнал «Реконструкция городов и геотехническое строительство», 2000, №2.

Бройд И.И. 2004. Струйная геотехнология. Учебное пособие. М.: Издательство АСВ.

Гиренко И.В., Смирнова Г.О., Богомолова О.В. 2003. Отработка составов и режимов устройства грунтоцементных свай методом струйной цементации при строительстве тоннельно-эстакадного участка третьего транспортного кольца. Научные труды ОАО ЦНИИС. Выпуск №218, с.23-40.

Зуев С.С. 2009. 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.

Зуев С.С. 2006. 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, Казань.

Маковецкий О.А., Зуев С.С. 2009. Сравнительный обзор технологий устройства ограждающих конструкций подземных частей зданий. Преимущества технологии «стена в грунте» для строительства подземных многоуровневых автостоянок. Материалы Всероссийского семинара-совещания заведующими кафедрами «Строительное производство» и международной научно-практической конференции, посвященной 50-

летию строительного факультета ПГТУ, Пермь.

Малинин А.Г. 2007. Струйная цементация грунтов. Пермь: Пресстайм, 168 с.

Смирнова Г.О. 2003. Применение струйной цементации грунтов при строительстве транспортных сооружений. Научные труды ОАО ЦНИИС. Выпуск №218, с. 107-119.