

УДК 624.131.37

**СТРУЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ
В ГЕОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Бойко И.Л., Никитенко М.И., Аль-Хаснави Р.М.

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Статья посвящена опыту применения высоконапорной струйной цементации грунтов в грунтовых условиях Беларуси при реконструкции зданий и сооружений и строительстве в стесненных условиях городской застройки.

The article presents the experience of application of high-pressure jet grouting in soil conditions of Belarus in renovation of a buildings and building in restricted conditions of urban area.

Вступление. В геотехнической практике нашей страны все активнее применяются новые технологии и оборудование. К ним относятся широкий спектр вибрационной техники, оборудование для задавливания свай, технология CFA и другие. Наличие современного оборудования и технологий позволяет решать технически невыполнимые ранее задачи в сложных инженерно-геологических условиях.

Все больше для инъекционного упрочнения грунта применяется технология “Jet Grouting”, получившая у нас название – «струйной технологии». Оборудование для нее (рис. 1) позволяет устраивать сваи в виде неармированных или армируемых бетонных столбов

диаметром до 2,0...2,5 м, улучшать свойства грунтов с недостаточной несущей способностью. Работы при новом строительстве и реконструкции могут выполняться вблизи существующих зданий в условиях плотной застройки без динамических воздействий.



Рис. 1. Оборудование итальянской фирмы Soilmes для струйной технологии

Технология «Jet Grouting» позволяет решать широкий спектр геотехнических задач: закреплять слабые естественные и насыпные грунты (мелиорация грунтов) с изменением характеристик и структуры грунтового массива на месте залегания (in situ) или замещением их твердеющими материалами, выполнять подземные несущие и противодиффузионные конструкции, элементы зданий и сооружений, отдельные сооружения и создавать массивы грунтов с заданными свойствами. При этом можно сооружать под землей фундаменты, сваи, искусственные основания, подпорные стены, горизонтальные или наклонные плиты и экраны, противодиффузионные диафрагмы, завесы и ванны, дренажные конструкции и пр.

В Беларуси технология «Jet Grouting» нашла применение на десятках объектов. В статье отражен такой опыт на примере характерных объектов с учетом проводимых исследований.

Примеры применения «Get-grouting» технологии. Технология «Jet grouting» предусматривает:

- подземное гидравлическое разрушение естественной структуры грунтов, в том числе на большой глубине;
- вынос на поверхность земли разрушенных грунтов;
- перемешивание грунтов с твердеющим раствором или полное их замещение материалом с заданными свойствами.

Высоконапорная цементация грунтов предполагает следующую последовательность работ:

- предварительно пробуренную технологическую скважину опускают монитор, имеющий боковую насадку (возможно и несколько боковых насадок) с соплами;
- к монитору подают под большим напором по гибкому рукаву размывающую жидкость, например, цементный раствор. При этом из сопла насадки выходит высокоскоростная струя раствора, которая размывает грунт, образуя в нем горизонтальную каверну. Размытый грунт вместе с отработанным раствором может частично выноситься на поверхность в виде пульпы;
- монитор приводят во вращение вокруг вертикальной оси при одновременном извлечении.

В результате, по мере подъема вращаемого монитора, часть размытого струей грунта (в пределах радиуса размывающей способности струи) перемешивается с раствором. Таким образом в грунтовом массиве образуется цилиндрический столб из грунтоцементной смеси, который после завершения подъема монитора и затвердевания создает несущий или противофильтрационный элемент из закрепленного грунта (грунтобетона).

Технология высоконапорной цементации грунтов нашла применение на ряде объектов в г. Минске и других городах. Возможности оборудования позволили применить ее при устройстве противофильтрационных ванн, подпорных стен, свай повышенной несущей способности, усилении основания фундаментов зданий при реконструкции, прокладке подземных коммуникаций и др.

При реконструкции цирка в г. Минске на берегу р. Свислочь потребовалось выполнить заглубленный объем под магазин сменных арен. Геотехнические условия оказались сложными - отметка дна котлована оказалась на 3,44 м ниже уровня подземной воды и подошв существующих фундаментов, а основание сложено песчаными грунтами с большими коэффициентами фильтрации. Водопонижение в таких условиях неизбежно вызвало бы значительные деформации фундаментов и существующих конструкций здания цирка. Использовать крупногабаритную буровую технику для устройства свай в стесненных условиях внутри здания было невозможно. Задача казалась технически неразрешимой или осуществление ее влекло значительное увеличение сроков и стоимости строительства. В связи с этим генеральный проектировщик – институт «Минскпроект» - обратился за консультацией к специалистам кафедры «Геотехника и экология в строительстве» БНТУ и под научным руководством ее заведующего – доктора технических наук, профессора Никитенко М.И. УП «Минскпроект» был разработан проект создания противофильтрационной ванны. Стены и днище ее были выполнены в обводненном грунте ООО «Специнпортстрой» из пересекающихся свай и цилиндрических элементов по технологии высоконапорной инъекции с помощью малогабаритного оборудования «Jet Grouting» (рис. 2).



Рис. 2. Устройство противофильтрационной ванны установкой «Jet Grouting» при реконструкции здания цирка.

Сваи ограждения ванны и примыкающего котлована $\varnothing 800$ мм имели длины соответственно 9,25 и 4,0 м (рис. 3). Вместо первоначального варианта армирование свай двутаврами при стесненности в здании для оборудования требуемой грузоподъемности были приняты высокопрочные полые стержни типа «Титан» с винтовой накаткой, соединяемые по длине секциями при помощи навинчиваемых муфт. Для устройства водонепроницаемого дна и исключения попадания воды в котлован ниже отметки его дна предусмотрено устройство с поверхности цилиндрических элементов $\varnothing 1000$ мм с их взаимным пересечением.

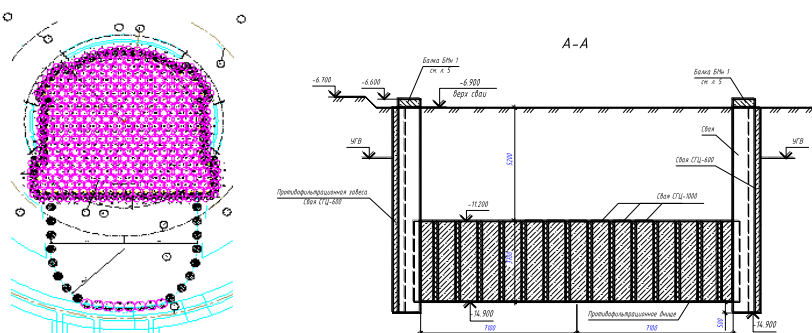


Рис. 3. Схема расположения буронабивных свай в составе стен и дна ванны, а также ограждения котлована для магазина сменных арен.

В процессе разработки грунта внутри ванны произошло проникание воды в котлован (рис. 4) через небольшие щели (ширина 5...10 см, высота до 30 см) между стволами свай, возникшие за счет их изготовления при отрицательной температуре в январе–феврале 2010 года, хотя оборудование «Jet Grouting» не предназначено для работы зимой. Замерзание воды и цементного раствора приводило к остановке процесса размыва и инъекции, что и послужило причиной брака. Устранение протечек оказалось достаточно сложной инженерной задачей в виду значительного количества поступающей воды и ее напорного характера. Для закупорки зазоров между сваями использовалась вспенивающаяся однокомпонентная полиуретановая смола. Далее внутри ванны была устроена гидроизоляция и прижимная железобетонная облицовка (рис. 5).



Рис. 4. Раскопка котлована внутри ванны и протечки в нее воды



Рис. 5. Выполнение внутри ванны гидроизоляции и облицовки

Огромная противофильтрационная ванна рядом с цирком потребовалась для котлована под многофункциональный комплекс с гостиницей «Кемпински» в г. Минске в квартале – ул. Я. Купалы – р. Свислочь – просп. Независимости, под которым проходят тоннели метро (рис. 6).

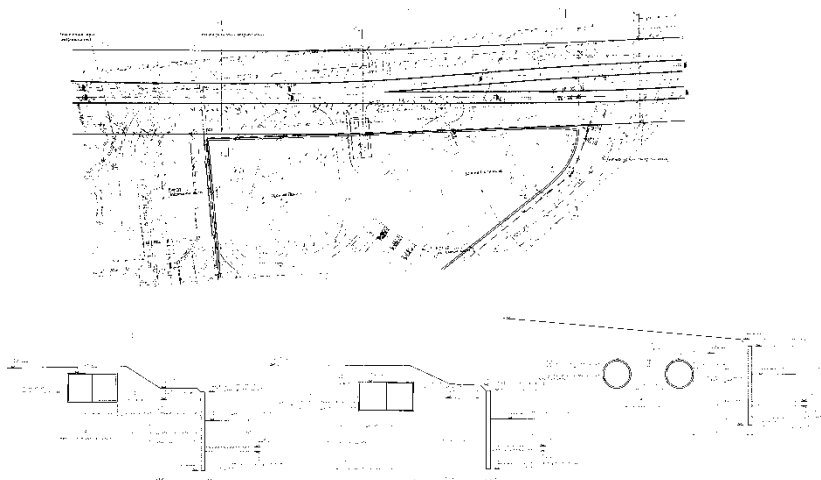


Рис. 6. План расположения ограждения котлована и расположение тоннелей метро возле него

Для ограждения котлована и в качестве несущих конструкций подземных этажей зданий комплекса по его контуру запроектиро-

ваны траншейные стены, возводимые методом «стена в грунте» (рис. 6, 7). Они имеют толщину 0,8 м и заглубление ниже дна котлована 14,5 м, причем за счет водонепроницаемого материала и при замкнутом контуре выполняют еще и противофильтрационную функцию, исключая приток воды в котлован сбоку.

План «стены в грунте»

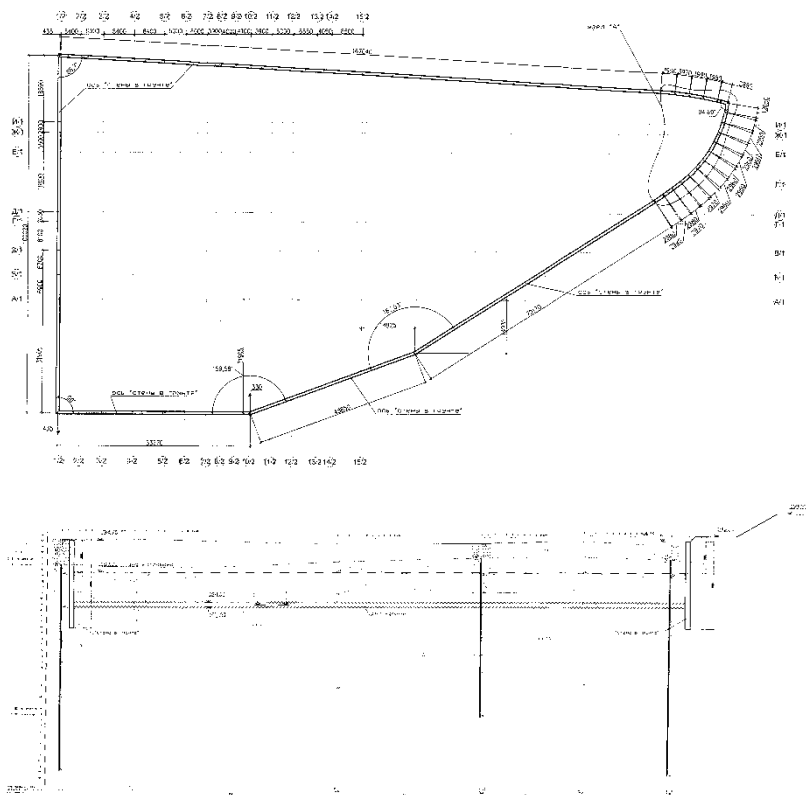


Рис. 7. Траншейные стены по контуру котлована и положение горизонтального противофильтрационного экрана в продольном разрезе

Для предотвращения возможности подтопления котлована снизу напорными водами проектом предусмотрено устройство ниже фундаментной плиты горизонтального противофильтрационного экрана высотой 0,8 м при отметке его верха ниже фундаментной плиты.

Этот экран создается из грунтоцементной смеси по струйной технологии в виде пересекающихся джет-колонн диаметрами от 1,2 м до 1,6 м. Глубина устройства такого горизонтального противofiltrационного экрана обусловлена необходимостью погашения напора подземной воды за счет наличия над ним слоя грунта под устраиваемой фундаментной плитой. Теоретическая проницаемость экрана принята в проекте 0,009 м/сут. Это должно было обеспечить защиту от прорыва подземных вод в котлован.

Проект противofiltrационной ванны и работы по ее устройству (рис. 8) выполнены СП «ОСНОВА-СОЛСИФ», г. Киев.



Рис. 8. Строительные работы на котловане для многофункционального комплекса «Кемпински»

При раскопке котлована оказалось, что сплошность горизонтального противofiltrационного экрана не была достигнута из-за

некачественно выполненных работ. В этой связи потребовался водоотлив из котлована для возможности производства в нем строительных работ по устройству фундаментной плиты. Откачка воды привела к выносу песка и их скоплению во многих местах на поверхности плиты

Высоконапорная цементация применена и при строительстве канализационного коллектора «Центр» в г. Минске, где закрепление грунтов у наружной стенки колодца для входа и выхода продавливаемых труб позволило исключить вывалы грунта (рис. 9).

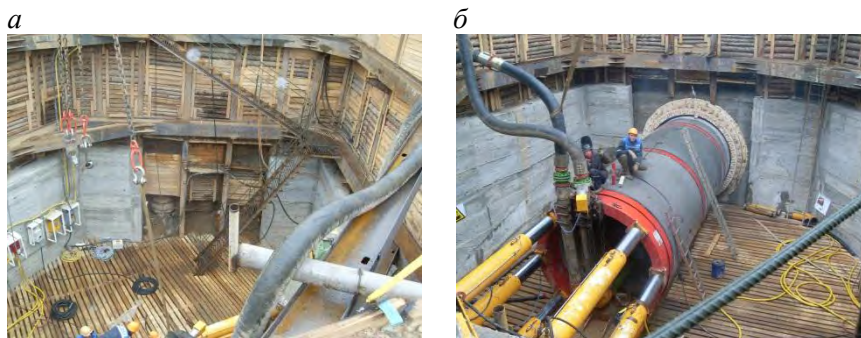


Рис. 9. Работы в колодце для проходческого щита канализационного коллектора «Центр»:

а – закрепленный высоконапорной струйной цементацией грунт в зоне продавливания труб коллектора через торцевую стену; *б* – процесс продавливания труб коллектора через торцевую стену колодца

Наличие линз и слоев рыхлых песчаных или малопрочных глинистых грунтов при залегании на значительной глубине в активной зоне под подошвами фундаментов не позволяет использовать такие основания без улучшения их свойств. Наиболее простым и дешевым способом усиления в таких условиях оказывается армирование слабых слоев грунта вертикальными цементно-грунтовыми столбами, изготавливаемыми по технологии “Jet Grouting”. В результате армирования основания модуль деформации грунта изменяется от 5...7 МПа (природное значение) до 20...30 МПа. Испытания на ряде объектов фрагментов фундаментных плит размером в плане 2,0×2,0 м подтвердили результаты выполненных расчетов.

Технология «Jet Grouting» нашла применение при устройстве ограждения строительного котлована здания ОАО «Приорбанк» во врезке на склоне между существующими зданиями по пр. Победителей в г. Минске (рис. 10), проект которого разработан ЧПУП «Моноракурс». В качестве ограждающей конструкции применена свайная стена из армированных буронабивных свай с заполнением промежутков между ними неармированными сваями, изготовленными по технологии «Jet Grouting». Для обеспечения устойчивости стены применены грунтовые анкеры системы «Титан», которые изготавливались также за счет высоконапорной инъекции через полые трубчатые тяги из высокопрочной стали с наружным винтовым профилем для натяжных гаек. Закачка цементного раствора под большим напором обеспечивала создание уширенных корней.

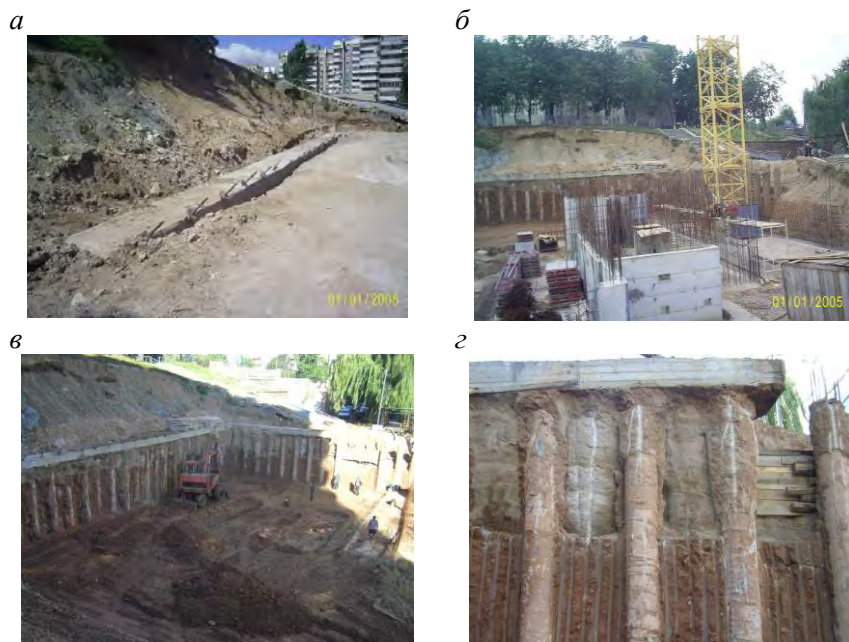


Рис. 10. Ограждение котлована для здания ОАО «Приорбанк» по пр. Победителей в г. Минске:

- a* – анкерование верхнего монолитного железобетонного обвязочного пояса перед раскопкой котлована; *б*, *в* – общий вид котлована в процессе возведения здания; *г* – фрагмент свайной стены с обвязочным поясом сверху

При строительстве подземной станции очистки воды на Белорусском металлургическом заводе в г. Жлобине (рис. 11) и технологической линии по производству листового полированного стекла мощностью 780 т стекломассы в сутки с цехом приготовления шихты на ОАО «Гомельстекло» в р.п. Костюковка Гомельской обл. и устройстве глубоких котлованов для их возведения выявили слои слабого грунта в активной зоне под подошвой фундамента (пылеватые пески $\phi = 14^\circ$, $C = 4$ кПа, $E = 4$ МПа).

Слабые грунты находились и в активной зоне подпорной стены, поэтому не обеспечивалась надежная эксплуатация самого сооружения и удерживающей свайной стены при принятой длине свай.



Рис. 11. Ограждение котлована из буронабивных свай диаметром 1,0 м на БАЗ в г. Жлобине

Для улучшения свойств грунта предусмотрено устройство армированного основания под подошвой фундаментной плиты, а вдоль свайной подпорной стены 2 рядов упрочненных грунтоцементных столбов $\text{Ø}1000$ мм с длинами по 4 м, выполненных методом струйной цементации. Такое решение обеспечило устойчивость свободной стены и позволило сократить длину свай при заглублении ниже дна котлована на 4,5 м (рис. 12).

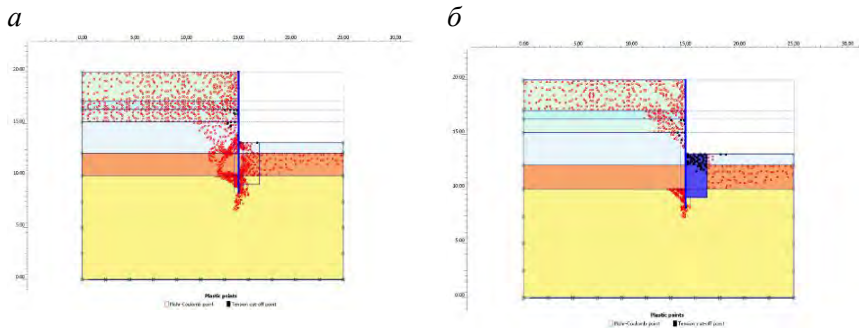


Рис. 12. Зоны развития пластических деформаций в основании подпорной свайной стены:
а – без упрочнения грунта ниже дна котлована;
б – с упрочнением грунта ниже дна котлована

Высоконапорная цементация грунтов применена при реконструкции здания Минского городского штаба МЧС. Неправильное армирование этой плиты при неверно принятой расчетной схеме привело к неравномерным ее осадкам и деформациям надземных конструкций здания. Посредством высоконапорной инъекции были созданы по контуру деформированной железобетонной фундаментной плиты здания грунтоцементные опоры с консолями.

Применение технологии «Jet Grouting» позволило существенно увеличить несущую способность набивных свай при устройстве фундамента под силос для хранения сахара на объекте «Реконструкция ОАО «Скидельский сахарный комбинат». Сваи устраивались в пылеватых и мелких песках при высоком уровне подземной воды. Проектом, разработанным ЧПУП «Моноракурс», предусмотрено устройство уширения под острием свай. С этой целью в ее ствол на всю длину закладывалась опускаемая вместе с каркасом полиэтиленовая труба Ø150 мм, через которую затем опускался монитор и выполнялось уширение. Для уточнения параметров инъекции и расхода материалов, а также определения прочности грунтоцемента, выполнялись опытные сваи с последующей их откопкой (рис. 13,а). Для определения прочности из уширения были выбурены керны и испытаны в лаборатории (рис.13, б–г).

Испытания свай показали их способность при длине 7,8 м и стволе Ø 600 мм воспринимать нагрузку не менее 3800 кН.

a*б**в**г*

Рис. 13. Исследование свай на объекте:
a – откопанная свая и уширение; *б* – керны, выбуренные из уширения;
в – испытания кернов; *г* – испытанные образцы

Несмотря на широкое внедрение технологии «Jet Grouting», в нормативной литературе [1] отсутствует информация с методикой определения прочности грунтоцемента, размеров зон инъекции в различных грунтовых условиях в зависимости от скорости перемещения монитора, давления струи на выходе и расхода инъекционного материала. Это вынуждает пока закладывать в проекты до-

рогостоящие эксперименты, либо большие запасы прочности, что неизбежно приводит к неоправданным затратам и существенно удорожает строительство. Попытка выявить качественную картину влияния давления и времени инъекции в песчаных грунтах на размеры ее зоны предпринята сотрудниками кафедры «Геотехника и экология в строительстве» БНТУ. Эксперименты выполнялись в лотке с прозрачной стенкой. Для инъекции использовалось оборудование, позволяющее создавать давление на выходе из сопла до 45 бар. Лоток заполнялся песком с варьированием его плотности и крупности. На рис. 13 приведены результаты экспериментов.

Эти опыты показали, что при инъекции в песке образуется полость, размеры которой зависят от плотности его сложения, давления струи на выходе, времени инъектирования. Вокруг полости образуется область «пропитки» песка с увеличением его влажности.

Проведенные исследования позволяют определить область наиболее эффективного использования технологии «Jet Grouting» в условиях залегания песчаных грунтов Беларуси, сократить дорогостоящие натурные эксперименты, проведение которых необходимо для разработки нормативных документов.

Литература

1. Фундаменты и подземные сооружения, возводимые с использованием струйной технологии. Правила проектирования и устройства : ТКП 45-5.01-45-2006 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2006. – 33 с.

2. Проектирование и устройство оснований из армированного грунта : пособие П 10-01 к СНБ 5.01.01-99 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2002. – 44 с.

3. Геотехнические реконструкции оснований и фундаментов зданий и сооружений : пособие П 10-01 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2001. – 120 с.

4. Проектирование и устройство буроинъекционных анкеров и свай : пособие П 18-04 к СНБ 5.01.01-99. – Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2005. – 79 с.