

СТРОИТЕЛЬСТВО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШАХТ С ПОМОЩЬЮ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЦЕХА

А.Г. Малинин, канд. техн. наук,
технический директор ЗАО «ИнжПроектСтрой»,
П.А. Малинин, инженер-геотехник

В статье рассмотрен опыт строительства технологических шахт в обводненных несвязных грунтах с помощью технологии струйной цементации. Хотя назначение шахт – монтаж технологического оборудования в стесненных условиях заводского цеха, тем не менее способ строительства, на наш взгляд, будет чрезвычайно интересен проектировщикам и специалистам, занимающихся вопросами строительства притоннельных сооружений метрополитенов, автодорожных тоннелей в сложных геологических условиях.

Введение.

В последнее время технология струйной цементации находит в нашей стране все более широкое применение при решении различных задач подземного строительства.

Сущность технологии заключается в разрушении грунта высоконапорной струей цементного раствора с одновременным перемешиванием грунта с цементным раствором. В результате в грунтовом массиве образуются колонны из нового материала – грунтобетона, обладающего высокими прочностными и противодиффузионными характеристиками. В зависимости от режима технологии диаметр свай составляет 600 – 2000 мм [1,2].

Большинство отечественных предприятий, обладающих технологическим оборудованием, применяет струйную технологию для решения наиболее простой задачи - *консолидации слабых грунтов*. Безусловно, в этом случае струйная технология имеет неоспоримые преимущества перед исторически предшествующей, более простой, но практически неконтролируемой технологией инъекционного закрепления грунта цементными растворами или составами на основе жидкого стекла или синтетических смол.

За последние годы предприятием накоплен значительный опыт стабилизации грунта с помощью струйной технологии – при проходке участка пластичных глин при строительстве автодорожного тоннеля в Уфе, повышении устойчивости глинистых пород на участке перегонного тоннеля строящегося метрополитена в Екатеринбурге, строительстве наклонного

ствола на одном из добывающих предприятий металлургического холдинга, укреплении основания насыпи при строительстве мостового перехода через р.Кама и др.

Между тем, струйная технология позволяет решать и другие, на наш взгляд, более сложные задачи подземного строительства.

В первую очередь к таким задачам относится *строительство глубоких котлованов в сложных геологических условиях*. В последнее время актуальность задачи возросла в связи с появившимся и ежегодно растущим спросом на подземные многоуровневые автостоянки, расположенные под строящимися жилыми домами. Особенно ярко это проявляется в таком крупнейшем мегаполисе, как г. Москва, где практически каждый элитный дом, строящийся в центральной части города, предусматривает подземную автостоянку, значительно повышающую финансовую привлекательность проекта для инвесторов.



Фото 1. Стесненные условия заводского цеха.

Другим приложением глубоких котлованов является прокладка инженерных коммуникаций на больших глубинах открытым способом, строительство шахт притоннельных сооружений метрополитенов и т.д.

Между тем, строительство котлованов в условиях чрезвычайно плотной городской застройки либо в условиях действующего заводского цеха имеет определенные особенности. В первую очередь это касается невозможности устройства ограждений котлованов с помощью забивной крепи, например металлического шпунта, из-за негативного воздействия на фундаменты близко расположенных зданий или сооружений. Применение

буронабивных свай значительно увеличивает продолжительность и стоимость строительства и не всегда обеспечивает водонепроницаемость стен котлована из-за расхождения свай на больших глубинах.

Наиболее сложной является ситуация, когда технически невозможно, либо экономически нецелесообразно заглубить буровые сваи в слой естественного водоупора. Так как традиционное водопонижение в стесненных условиях может привести к аварийным осадкам соседних фундаментов, вся оставшаяся надежда до последнего времени возлагалась на малоэффективные и неконтролируемые инъекционные методы, предусматривающие нагнетание в днище котлована цементных составов и синтетических смол.

Появление на рынке строительных технологий струйной цементации грунтов позволило на порядок более эффективно решать подобные задачи, основываясь на следующих преимуществах технологии:

- отсутствие негативного воздействия на соседние фундаменты в процессе устройства ограждения из грунтоцементных свай;
- обеспечение водонепроницаемости ограждения из секущихся свай;
- возможность устройства надежной горизонтальной противодиффузионной завесы в днище котлована (слоя искусственного водоупора).

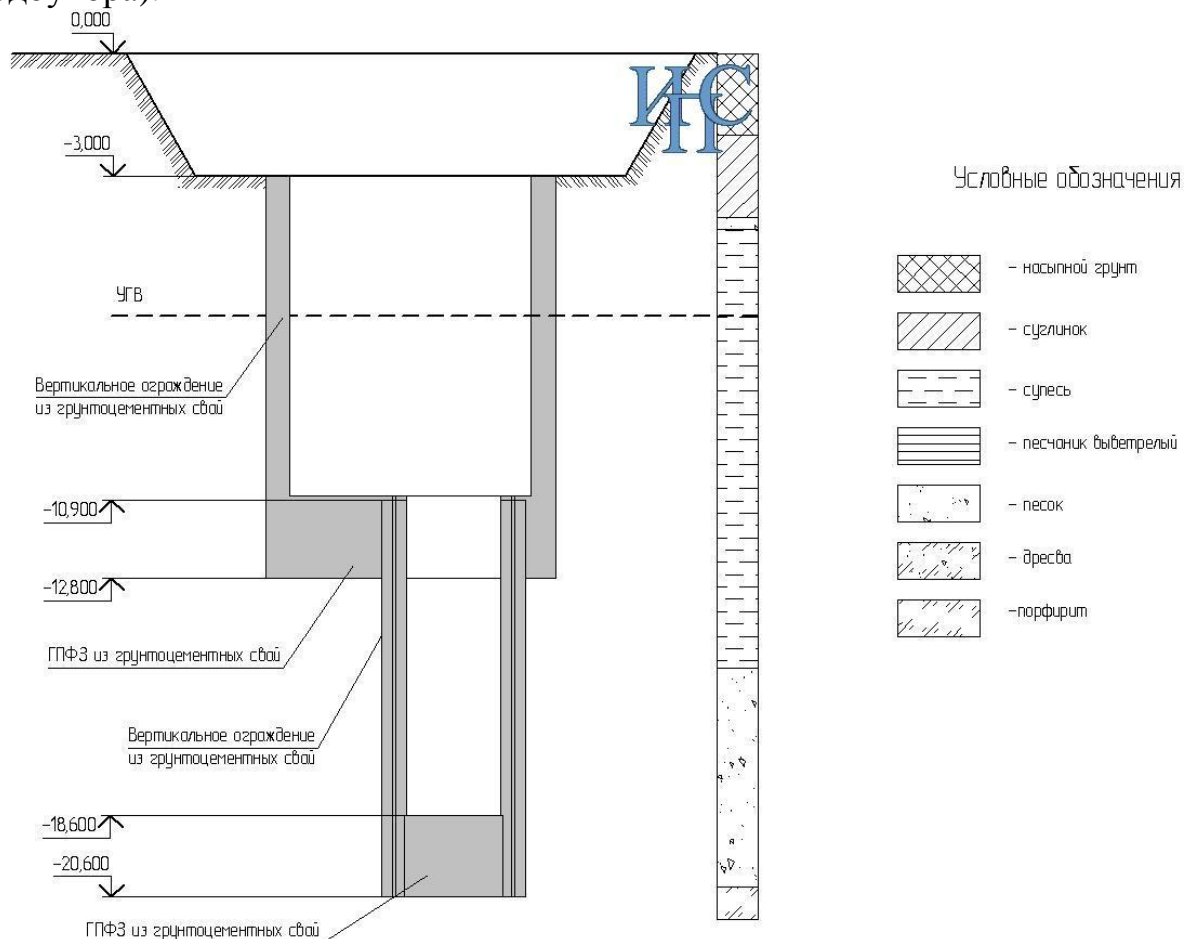


Рис 1. Принципиальная схема сооружения котлована

Варианты конструкции ограждения котлована могут быть различными в зависимости от геологических условий и класса решаемой задачи. В случае неглубоких котлованов, сооружаемых в грунтах высокой устойчивости,

применяются одиночные, не пересекающиеся сваи. Применение секущихся свай является эффективным, когда необходимо дополнительно обеспечить водонепроницаемость стен котлована. При значительных глубинах для повышения устойчивости бортов возможно устройство ограждения из двух или трех рядов свай. В наиболее ответственных случаях применяется комбинированный вариант, когда основную нагрузку воспринимают буронабивные армированные сваи, а грунтоцементные сваи являются только грунтоцементной забиркой, обеспечивающей водонепроницаемость стен котлована.

Армирование грунтоцементных свай обычно производится центрально расположенными трубами диаметром 73-219 мм или одиночным арматурным стержнем.

Для таких схем армирования авторами получены формулы, позволяющие вычислить предельный момент сечения сваи. Полный вывод формул для всех конструкций ограждения из отдельно стоящих, касательных или секущихся свай можно посмотреть в Интернете на сайте предприятия www.jet-grouting.ru.



Фото 2. Вид грунтоцементных свай на первом этапе – строительство подземной камеры.

Струйная цементация при ограждении глубоких котлованов специалистами предприятия была апробирована в Москве при устройстве

ограждения котлована двухуровневой автостоянки по ул. Мытная по проекту, разработанному ООО «Инженерное бюро Юркевича», а также при строительстве паркинга под строящимся зданием по Спасоналивковскому переулку по проекту, разработанному ГУП НИИОСП им. Н.М.Герсеванова. Безаварийная разработка грунта в котлованах доказала правильность проектных решений, а также высокое качество выполненных строительных работ. Это обеспечило устойчивость бортов котлована без сооружения поперечных расстрелов и в последующем значительно облегчило выполнение бетонных работ в котлованах.

В тех случаях, когда естественный слой водоупора залегает на значительной глубине, технология струйной цементации грунтов позволяет в обводненном грунтовом массиве сформировать *горизонтальную противofильтрационную завесу* - слой искусственного водоупора из секущихся грунтоцементных свай. Такая завеса площадью 2900 м² была впервые выполнена в Москве при строительстве котлована для многоуровневого паркинга по Озерковской набережной [3,4].

1. Описание объекта.

Для установки крупногабаритных литевых машин ПЛА-20 в одном из заводских цехов Каменск-Уральского металлургического завода, входящего в холдинг «Северо-Уральский алюминий», потребовалось устроить два фундамента глубоко заложения, каждый из которых представлял подземную камеру с технологической шахтой глубиной 20 м.

Такая глубина определялась необходимостью выдвижения вниз штока литевой машины, а также необходимостью обслуживания подземной части литевой машины.

Сложность задачи заключалась в необходимости сооружения шахты в стесненных условиях действующего цеха с чрезвычайно плотным расположением фундаментов технологического оборудования, а также фундаментов колонн цеха, на части из которых расположены рельсовые пути цехового крана, грузоподъемностью 50 тонн.

Ситуация усугублялась сложными горно-геологическими условиями площадки строительства - в первую очередь, наличием мощного слоя обводненного песка.

Безусловно, в подобных условиях было невозможно применить традиционные способы строительства – водопонижение в сочетании с забивной крепью или опускным колодцем, в связи с высокой опасностью значительных осадков близко расположенных фундаментов, а предложения по применению буронабивных свай заказчиком были отклонены в связи с большими габаритами бурового оборудования и высокой стоимостью работ.

Требовалось иное, нестандартное решение, которое и было разработано генподрядчиком – Управляющей компанией строительного холдинга (Екатеринбург) совместно со специалистами нашего предприятия.

2. Результаты инженерно-геологических изысканий.

В геологическом отношении площадка работ расположена в зоне развития комплекса эффузивных пород среднего девона, представленных порфиритами основного состава. Коренные породы перекрыты прибрежно-морскими отложениями палеогена и верхнего мела, а также маломощным чехлом аллювиально-делювиальных осадков четвертичного возраста и насыпными грунтами.

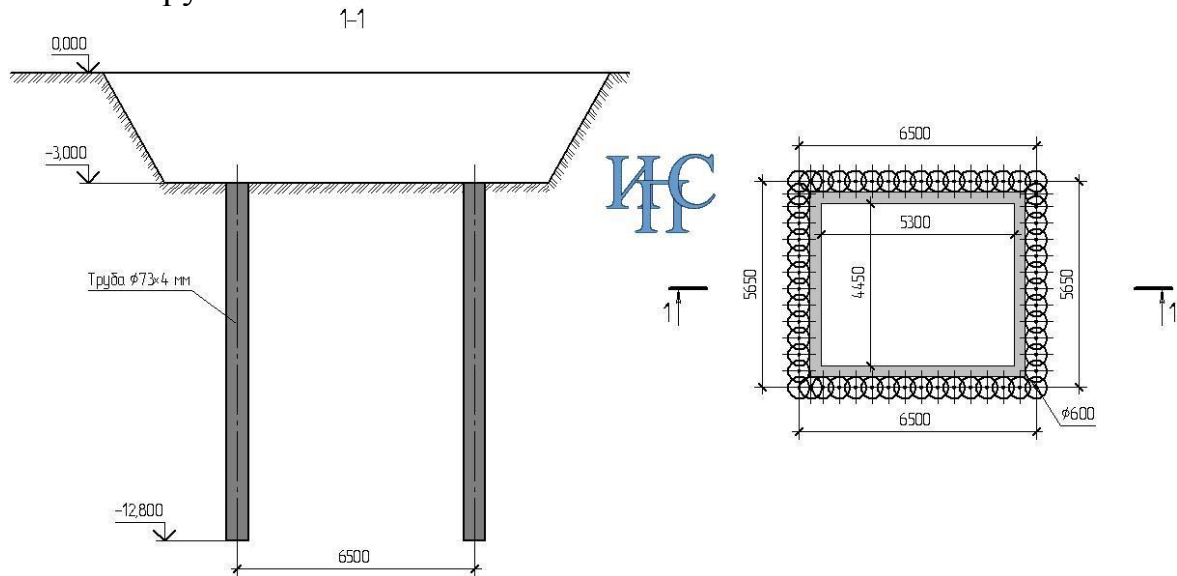


Рис 2. Этап № 1: устройство ограждения подземной камеры

Площадка строительства представлена следующими грунтами:

- насыпные грунты, представленные щебнем, песком, строительным мусором, перемятым суглинком общей мощностью насыпного слоя 1,9-2,2 м,
- суглинки аллювиально-делювиальные четвертичного возраста, твердой и полутвердой консистенции, с карбонатными включениями, а в нижней части слоя - с включениями песка и с примесью органического вещества общей мощностью 1,6-2,3 м,
- с глубины 3,7-4,5 м до 14,0-15,0 м обнаружено переслаивание элювиальных песков мелких и средней крупности, супесей и суглинков, представляющих продукт выветривания кварц-глауконитовых песчаников палеогенового возраста прибрежно-морского генезиса, с прослоями тех же выветрелых песчаников на глинисто-опаловом цементе,
- пески аллювиальные мелового возраста, коричневатого-серого цвета, мелкие, плотные, однородные, кварцевого состава, водонасыщенные, залегают на глубине 14,0-15,0 м мощностью 2,4-4,0 м,
- порфирит серого цвета, прочный, сильнотрещиноватый, иногда выветрелый до состояния дресвяного грунта с суглинистым заполнителем до 40,0%, слой вскрыт на глубине 17,4-19,6 м пройден на всю глубину разведочного бурения до 30 м.

Гидрогеологические условия площадки характеризуются развитием двух водоносных горизонтов. Первый горизонт приурочен к пестрой по составу толще палеогенового возраста, второй - к слою хорошо отсортированных однородных песков мелового возраста. Оба горизонта связаны между собой и имеют общий установившийся уровень, но нижний горизонт более водообилен, т.к. обладает лучшей водопроницаемостью. Уровень воды установился на глубине 6,4-6,6 м.

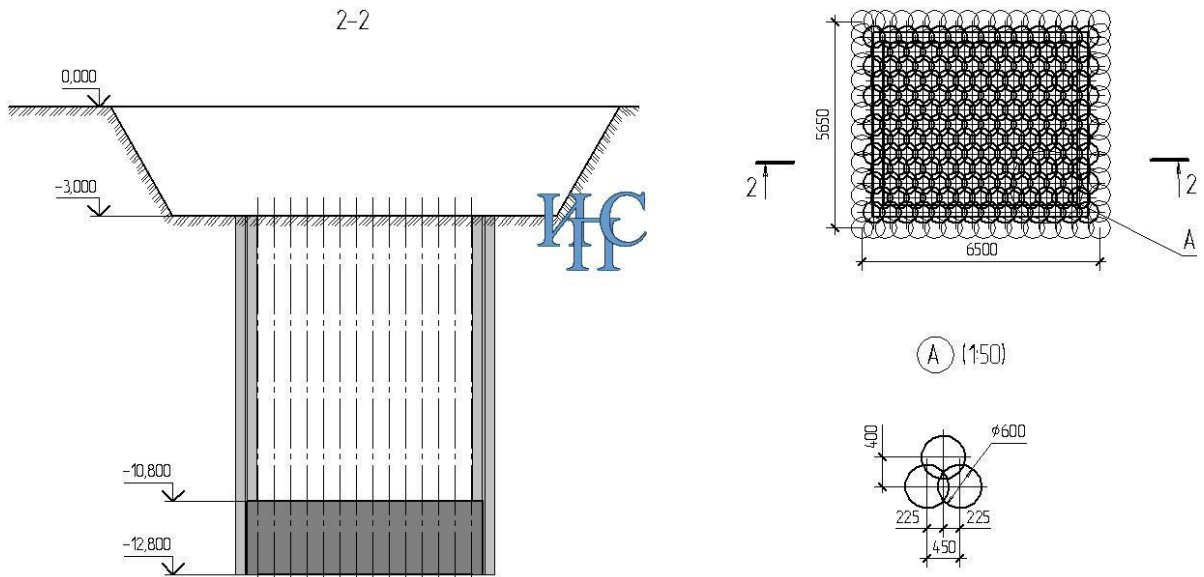


Рис 3. Этап № 2: устройство горизонтальной противофильтрационной завесы в днище подземной камеры

3. Техническое решение.

Техническое решение заключалось в устройстве ограждающей конструкции из грунтоцементных колонн по технологии струйной цементации грунтов, под защитой которой должна быть выполнена разработка грунта при строительстве камеры и технологической шахты. Для обеспечения необходимой несущей способности все сваи ограждения армировали трубой диаметром 73 мм с толщиной стенки 6 мм.

Так как грунтовый массив находится в обводненном состоянии, с помощью этой же технологии было предложено создать искусственный слой водоупора – горизонтальную противофильтрационную завесу (ГПФЗ) в днище камеры и на нижней отметке строительства шахты.

Для снижения общей стоимости работ и облегчения буровых работ генподрядной организацией была выполнена разработка грунта открытым способом до отметки -5,0 м. В процессе сооружения пионерного котлована был разобран многослойный бетонный пол цеха, перенесены инженерные коммуникации и удален весь насыпной грунт, содержащий строительный мусор.

4. Строительство.

Работы по сооружению ограждающей конструкции и противофильтрационной завесы вели в четыре этапа:

- на первом этапе с отметки -5,0 м с помощью струйной цементации было выполнено устройство ограждающей конструкции глубиной до отметки -12,8 м.

- на втором этапе с помощью этой же технологии была выполнена горизонтальная противофильтрационная завеса на глубине с отм. -10,8 м до отм. -12,8 м.

- на третьем этапе выполнено устройство ограждающей конструкции с отм. -10,8 м до отм. -20,6 м.

- на четвертом этапе была выполнена горизонтальная противофильтрационная завеса на глубине с отм. -18,6 м до отм. -20,6 м.

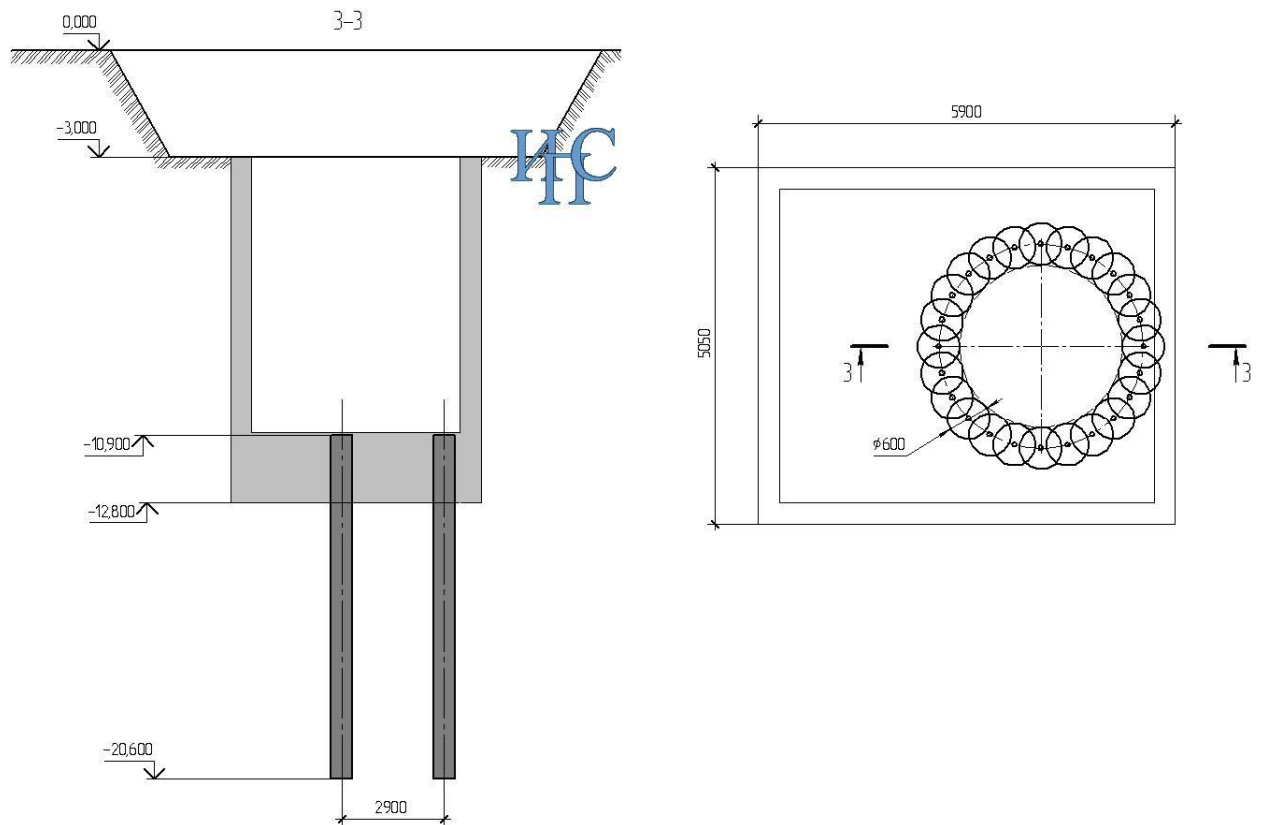


Рис 4. Этап № 3: устройство ограждения вертикальной шахты

Устройство грунтоцементных свай по технологии струйной цементации состояло из следующих технологических операций:

- бурение лидерных скважин до отметки подошвы колонн (прямой ход),
- устройство грунтоцементных свай путем перемешивания грунта с цементным раствором по струйной технологии в процессе вращения и подъема буровой колонны (обратный ход).

Бурение лидерных скважин выполняли буровым станком СБГ-ПМ2, затем с целью повышения производительности работ (в связи с

ужесточением сроков пуска объекта) буровым станком IPC Drill 830 BV (Италия).

Приготовление цементного раствора с В:Ц=0,9 производили в миксерной станции производительностью 10,0 куб.м в час.

Подачу цементного раствора под давлением 450-500 атм. в напорную магистраль производили трехплунжерным насосом TW 351 (Италия).

Устройство свай вели по однокомпонентной схеме струйной цементации – Jet1. Диаметр сопел, количество сопел, скорость подъема буровой колонны устанавливали из условия обеспечения расхода цемента не менее 300 кг на 1 п.м. свай.

В процессе последующей разработки грунта было установлено, что диаметр свай составил 800-850 мм, что при шаге 450 мм обеспечило надежное взаимное пересечение свай не только в верхней части сооружения, но и на глубине 20 м.

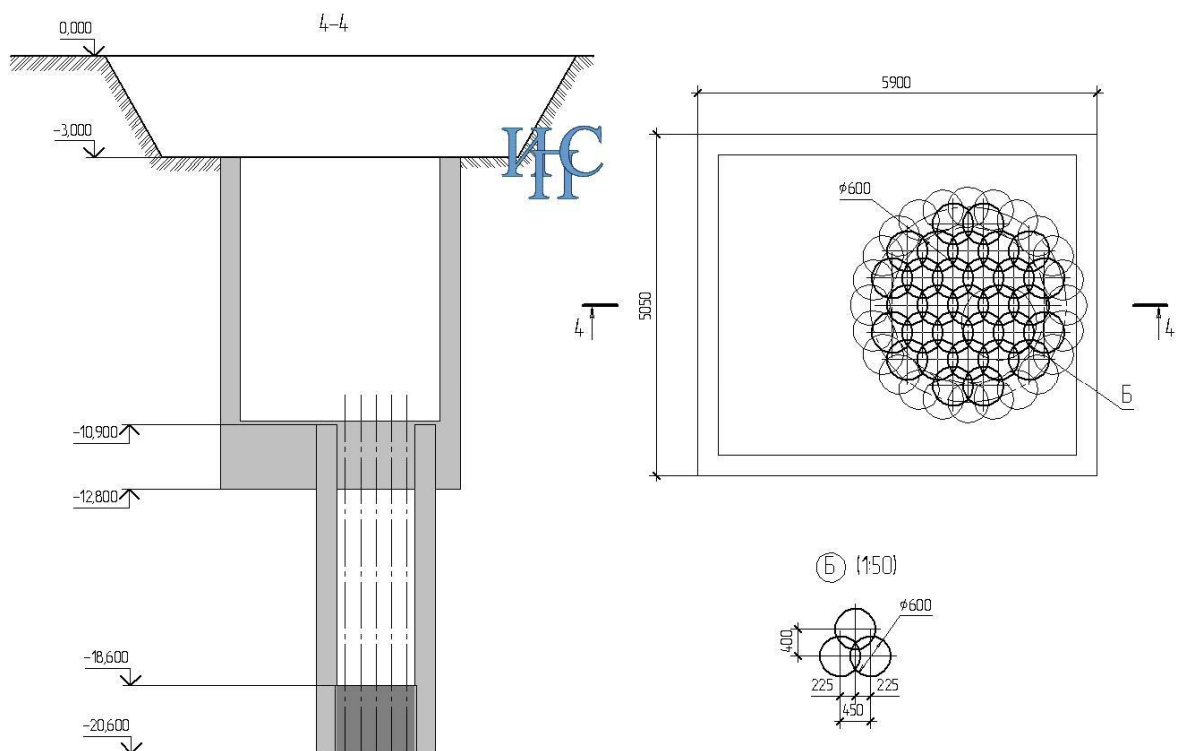


Рис 5. Этап № 4: устройство ГПФЗ

После двухнедельной выдержки свай, необходимой для набора прочности грунтоцемента, генподрядчиком была выполнена разработка грунта, возведение рам временной крепи и постоянной железобетонной обделки. Поступление воды было столь незначительным, что применение насосов для откачки воды требовалось только в процессе вынужденных остановок при проходке шахт.

Все работы по строительству двух шахт с учетом твердения материала свай были выполнены за три месяца.

Мониторинг за осадками фундаментов, который службы заказчика проводили ежедневно (в связи с высокой степенью ответственности работ), показал, что величины результатов измерений были настолько малы, что находились в пределах ошибки геодезических приборов.



**Фото 3. Завершение работ по проходке работ подземной камеры.
Работы ведутся ниже уровня грунтовых вод.**

В связи с высокой сложностью и отличным качеством выполненных работ, настоящая работа была рекомендована заказчиком для выдвижения на конкурс по лучшим технологиям подземного строительства, проводимым Тоннельной ассоциацией России в 2005 г.

Тел. (342) 219-63-61, (342) 219-61-03.

Официальный сайт в Интернете: www.jet-grouting.ru

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

2. Малинин А.Г. Применение технологии струйной цементации грунтов в транспортном строительстве // Метро и тоннели. 2001, №6.

3. Малинин А.Г. Устройство горизонтальной противодиффузионной завесы в днище котлована строящейся подземной автостоянки // Подземное пространство мира. 2004, №2.

4. Малинин А.Г. Строительство глубоких котлованов с помощью технологии струйной цементации грунтов // МетроИнвест. 2004, №2.