

УКРЕПЛЕНИЕ ЗОНЫ ПЛАСТИЧНЫХ ГЛИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ В УФЕ

В.П. Абрамчук, А.Ю. Педчик, В.В. Шипицын, А.А.Максимов,
Ю.П. Яковлев (ФГУП УС-30), А.Г. Малинин (ИнжПроектСтрой)

В г. Уфе продолжается строительство автомобильного тоннеля, являющегося частью трассы Запад-Восток, проходящей через центральную часть города. Основным принципам строительства этого уникального объекта посвящены публикации журнала [1, 2]. В настоящей работе приведен опыт решения еще одной сложной задачи - укреплению слабых грунтов при проходке тоннеля в зоне пластичных глин.

1. Введение

Проходка четырехполосного двухсекционного тоннеля протяженностью 1249 м в створе мостового перехода через р. Уфа ведется Горностроительным комплексом СМУ-680 ФГУП УС-30 (фото 1).



Фото 1. Флаги Башкортостана, ИнжПроектСтроя и УС-30.

Технология строительства (НАТМ), конструктивные чертежи обделки разработаны австрийской фирмой «Бетон унд Монирбау».

Тоннель сооружается на глубине 25-30 м в сложных инженерно-геологических условиях. Грунты по трассе тоннеля представлены переслоенными суглинками, глинами, известняками, мергелями, гипсами. Район трассы тоннеля приурочен к антиклинальной структуре с развитыми карстово-суффозионными процессами.

В результате подробных инженерно-геологических изысканий было установлено, что наибольшую опасность при

проходке тоннеля будет представлять зона пластичных глин протяженностью 80-100 м.

Неблагоприятный прогноз подтвердился 2 года назад, когда началась разработка калотты Северной опорной штольни. В процессе проходки забой штольни находился, как правило, в устойчивом состоянии. Однако во время возведения временной набрызгбетонной крепи забой обрушился из-за переувлажнения пород. Причиной этого являлось перераспределение напряжений в зоне влияния проходческих работ.

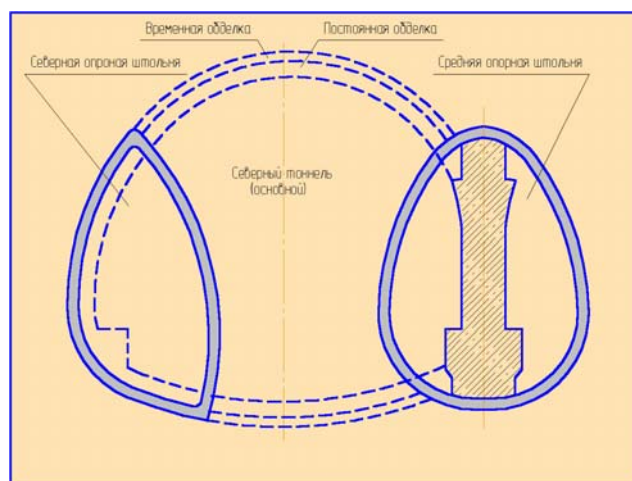


Рис.1. Схема строительства тоннеля.

Деформационные процессы, сопровождающиеся появлением многочисленных трещин, привели к формированию в окружающем массиве новых гидравлических связей с вышележащими грунтами, обводненными за счет выпадения атмосферных осадков, а также с нижележащими водоносными трещиноватыми мергелями. В результате поступления по

трещинам воды глины приобрели мягкопластичную, местами текучепластичную консистенцию с соответствующим снижением прочностных и деформационных характеристик.

Увеличение подвижности пород привело к возрастанию горного давления и, как результат, к деформированию временной набрызгбетонной крепи Северной штольни с потерей габаритов, необходимых для возведения постоянной обделки (рис.1). Неоднократные попытки перекрепления участка только на короткое время давали передышку тоннельщикам, после чего процессы деформирования и разрушения крепи возобновлялись, иногда даже с большей интенсивностью.

И хотя многократные перекрепления участка допускали его эксплуатацию для безопасного прохода людей и техники, общую проблему это не решало, так как строительство тоннеля подходило к наиболее сложной и ответственной фазе – раскрытию выработки на полный профиль и возведение постоянной обделки тоннеля.

2. Техническое решение

Для разрешения создавшейся ситуации было проведено множество технических совещаний с участием экспертов Тоннельной ассоциации. Из всех предложенных вариантов было выбрано три основных – проходка опасного участка с помощью опережающего экрана из труб, замораживание и цементация грунтов. С учетом многочисленных факторов, таких как необходимость приобретения новой дорогостоящей техники, продолжительность работ, объем подготовительных работ в виде устройства вспомогательных камер, сложность организации работ в забое и, главное, стоимость работ, был выбран вариант струйной цементации грунтов.

С целью подтверждения выбранного решения были организованы работы на опытном участке. Рассматривали два варианта проведения работ. Первый вариант предусматривал производство работ

с поверхности земли и заключался в устройстве грунтоцементного грузонесущего ограждения в стенах и кровле выработки из секущихся вертикальных свай различной длины. Вторым вариантом – устройство защитного экрана над кровлей выработки с помощью горизонтальных свай, выполненных из забоя штольни.

3. Производство опытных работ с поверхности земли

Преимуществом данного варианта являлась возможность расположения инъекционного комплекса в удобном месте на поверхности земли. Инъекционный комплекс включал миксерную станцию TW-20, инъекционный насос TW-351 (Tecnowell, Италия), силос объемом 20 м³ для складирования цемента, бак для воды объемом 10 м³, компрессорную станцию.



Фото 2. Производство работ на площадке.

Отметим, что инъекционный комплекс был установлен непосредственно над тоннелем в лесопарковой зоне (фото 2).

Для уменьшения негативного воздействия на окружающую среду на участке

производства работ были выполнены природоохранные мероприятия – срезка почвенно-растительного слоя, устройство котлована глубиной 0,5 м, обваловка участка, а по окончании работ – уборка затвердевшей пульпы и восстановление почвенно-растительного слоя.

Первоначальный вариант предусматривал устройство ограждения из вертикальных свай различной длины, расположенных в пяти рядах с шагом 1000 мм. Расстояние между рядами составляло 900 мм (рис.2).

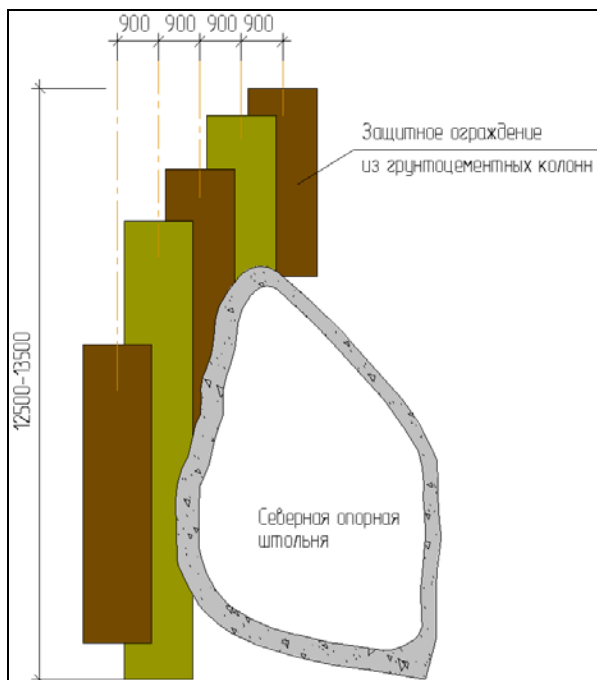


Рис.2. Защитное ограждение из свай.

Сетка расположения свай была выбрана из условия распространения струи цементного раствора на расстояние не менее 600 мм. Сваи устраивали по двухкомпонентной технологии струйной цементации грунтов. Технологические параметры нагнетания скрепляющего состава: водоцементное отношение – 0,8:1, давление нагнетания – 500-550 атм., давление воздуха – 7-8 атм. при расходе до 10 м³/мин.

Отметим, что опыт выполнения подобных работ на глубине 25-30 м в нашей стране отсутствовал, поэтому многие эффекты, сопровождающие процесс цементации, были выявлены и оценены впервые. В первую очередь это относится к воздействию столба грунтоцемент-

ной смеси на крепь выработки. Дело в том, что в течение нескольких часов после устройства свай ее материал (грунтоцемент) находится в жидком состоянии. Именно в этот период на локальный участок крепи действует дополнительное гидростатическое давление порядка 3-4 атм. В результате этого на некоторых участках произошло значительное деформирование крепи, сопровождающееся появлением трещин.

Для устранения негативного воздействия струйной технологии на крепь выработки были разработаны и осуществлены следующие дополнительные мероприятия. В первую очередь была выполнена закладка выработки на участке производства опытных работ. Кроме того, крайние ряды свай были выполнены по однокомпонентной технологии (без применения воздуха) с соответствующим уменьшением шага свай. Указанные мероприятия позволили в дальнейшем успешно закончить работу в чрезвычайно короткие сроки без каких либо новых негативных эффектов.

В итоге было выполнено 480 свай по однокомпонентной технологии и 240 свай по двухкомпонентной технологии струйной цементации при длине свай от 4 до 10 м. Производительность работ определялась в основном интенсивностью поступления цемента на объект. Рекордными показателями являлись следующие результаты: 22 свай в сутки, устроенные по однокомпонентной технологии и 12 свай в сутки – по двухкомпонентной технологии.

Для контроля качества работ и оценки полученных результатов через месяц после окончания работ была пройдена контрольная камера. Осмотр укрепленного грунта показал, что результат укрепления трещиноватых глин с помощью струйной технологии визуально значительно отличается от укрепления несвязных грунтов.

На фото 3 видно, что укрепленный грунт представляет конгломерат, состоящий из грунтобетона (глины, перемешанной с цементным раствором), небольших

областей непромешанной глины и чистого цементного камня, которым были заполнены все трещины.



Фото 3. Контрольная камера.

В результате такого воздействия была прекращена фильтрация воды по трещинам, произошло многократное повышение прочностных характеристик зоны закрепленного грунта, а также, что было достаточно неожиданно, повышение консистенции остального прилегающего грунтового массива до полутвердого, а местами – твердого состояния.

4. Производство опытных работ из забоя выработки

Альтернативный вариант предусматривал устройство защитного экрана в кровле выработки из пересекающихся горизонтальных свай, который выполняют из забоя выработки.

Зарубежный опыт производства подобных работ в протяженных выработках показывает, что данный вариант обладает существенным недостатком. При такой схеме длина свай не превышает, как правило, 13-15 м при дальнейшей проходке участка длиной не более 10 м. С учетом низкой скорости набора прочности грунтобетоном общее время проходки такого участка составляет приблизительно 2 месяца. Тем не менее, с целью получения полной достоверной информации, включающей определение количества рядов и шага свай, типа технологического оборудования и схемы организации работ было выполнено несколько экспериментальных свай на участке про-

ходки калотты основного Северного тоннеля.

Комплекс приготовления и высоконапорной подачи цементного раствора был расположен на поверхности. Для уменьшения длины шлангов с поверхности была пробурена и обсажена вертикальная скважина, через которую в забой протянули высоконапорный шланг для подачи цементного раствора. Бурение скважин выполняли с помощью бурового станка СБГ-2ПМ, переведенного в горизонтальное положение и установленного на специально изготовленные подмости (фото 4).



Фото 4. Устройство горизонтальных свай.

После производства работ была выполнена проходка выработки на всю длину свай. После каждой заходки длиной 0,6 м определяли форму свай, измеряли диаметр, отбирали монолиты грунтобетона для определения прочности.

Результаты исследований показали, что с помощью однокомпонентной технологии в породах, представленных достаточно твердыми алевритами с прослоями доломитов и супеси, могут быть получены сваи диаметром от 0,4 до 0,6 м.

Важной особенностью, как и в первом случае, явилась фильтрация цементного раствора по существующим трещинам, причем даже в восходящем направлении на всю видимую длину трещины 2-3 м. Это привело к полному заполнению трещин цементным камнем и модификации грунтового массива между выполненными сваями. В дальнейшем необходимо учесть повышение физико-механических характеристик грунтового

массива на значительном удалении от границы грунтоцементных колонн и, тем самым, уменьшить необходимое количество свай.

Другим положительным результатом является возможность применения отечественных буровых установок для производства свай в забое выработки. Небольшая модификация станка СБГ-2ПМ дала возможность в стесненном пространстве достаточно производительно выполнять буровые работы при расположении основного инъекционного комплекса на поверхности.

Выводы

Струйная цементация грунтов оказалась эффективной технологией для решения задачи повышения устойчивости пластичных глин. Положительным эффектом технологии является не только образование собственно грунтоцементных свай, но и дополнительно инъецирование цементного состава в трещины окружающего породного массива, что значительно повышает его механические характеристики.

Выбор варианта производства работ – с поверхности земли или из забоя выработки определяется не столько техно-

логическими аспектами, сколько временными и организационными показателями, связанными с общими перспективными планами строительства тоннеля.



Фото 5. Бригада рабочих.

Литература

1. В.П. Абрамчук, А.Ю. Педчик и др. Инженерно-геологические условия и технологические аспекты строительства автомобильного тоннеля в Уфе // Метро и тоннели, 2002, №2.
2. В.П. Абрамчук, А.Ю. Педчик и др. Строительство автомобильного тоннеля в Уфе // Метро и тоннели, 2003, №6.