

## **СООРУЖЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ИЗ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Рассмотрена технология сооружения опережающего защитного экрана из труб с применением микротоннелепроходческого комплекса при строительстве тоннелей неглубокого заложения. Приведен конкретный пример возведения тоннеля в городе Перми с применением оборудования германской фирмы «Херренкнехт АГ».

The article describes a technology of protecting apron construction from pipes with a micro tunneling machine in construction of shallow tunnels. A particular application of this technique in tunnel construction with the Herrenknecht AG equipment (Germany) in the city of Perm is described in the paper.

Технология сооружения опережающего защитного экрана из труб с применением микротоннелепроходческого комплекса (МТПК) позволяет при строительстве тоннелей закрытым способом на мелком заложении обеспечивать минимальные осадки земной поверхности, сохранность зданий, сооружений и подземных коммуникаций в зоне строительства, не нарушать движения наземного транспорта, что является главным критерием применения данной технологии в условиях городского строительства. Высокая эффективность и надежность технологии в различных инженерно-геологических условиях способствует расширению сферы ее применения в России.

При сооружении опережающих защитных экранов из труб принцип работ следующий. В начале и конце проектной выработки роют котлованы – стартовый и приемный (расстояние до 100 м). Размер котлована и конструкция его крепления назначаются из условий планировки строительной площадки и типа МТПК. Технология опережающего защитного экрана заключается в последовательном продавливании труб в грунтовый массив по проектному периметру выработки с одновременной разработкой грунта и выдачей его из трубы на поверх-

ность. По мере продвижения трубы осуществляется пристыковка очередных секций к ранее уложенным. Для обеспечения сплошности экрана трубы соединяются между собой при помощи фиксирующих устройств, не препятствующих продольному перемещению, оборудование и обработка которых производится на предприятиях, имеющих соответствующее оборудование. После тщательной выверки соосности очередная секция трубы приваривается к предыдущей сплошным равнопрочным швом. После окончания работ по установке труб по всему периметру экрана на основании продланного расчета производится заполнение труб бетоном или железобетоном (установка арматурного каркаса и бетонирование).

Данная технология позволяет: строить тоннели на мелком заложении различных форм и размеров поперечного сечения, свести к минимуму или ликвидировать деформации земной поверхности при сооружении тоннелей и, как следствие, обеспечить сохранность зданий, сооружений, коммуникаций, природного ландшафта в зоне строительства, исключить работу человека в стесненных условиях забоя тоннелей малого диаметра, избежать применения специальных методов закрепления грунтов.

Теперь рассмотрим конструкцию самого микротоннелепроходческого комплекса. Он представляет собой комплект подземного, шахтного и поверхностного оборудования и устройств, обеспечивающих механизированное и дистанционное управление. Комплекс предназначен для выполнения следующих операций: образование в различных грунтах подземной выработки (скважины) заданного, обычно прямолинейного, направления, проходящей из стартового в приемный котлован с одновременным удержанием забоя и креплением стенок выработки, кладка по образуемой выработке цельного или составного трубопровода, транспортирование разработанного грунта из забоя на поверхность с одновременным контролем его объема.

В зависимости от способа транспортировки грунта, разработанного в забое выработки, МТПК подразделяют на три вида: с гидравлическим, механическим шнековым и пневматическим транспортом грунта.

В комплект поставки каждого вида МТПК входят: щитовая микромашинка, прессовая станция, система транспорта и приема разработанного грунта, управляющий силовой контейнер, крановая установка, аппаратура системы маркшейдерского ведения контроля за положением щитовой микромашинки, установка для приготовления и нагнетания бетонитового раствора, составные коммуникационные шланги и кабели.

Для перемещения МТПК по периметру защитного экрана в каждом конкретном случае создаются вспомогательные механизмы, обеспечивающие быструю и низкзатратную перестановку комплекса к месту ввода очередного элемента экрана. Одним из таких примеров является подъемник буровой установки, разработанный московской фирмой «Трансстройтоннель», который размещается в котловане стартовой шахты на направляющих из рельсов для горизонтального перемещения домкратной станции. Компактные размеры подъемника ( $2,7 \times 2,2 \times 6,0$  м) и его небольшая масса позволяют свободно размещать его в небольших по площади котлованах.

Основными производителями МТПК являются: германские фирмы «Херенкнехт», «Зольтау», «Ловат МТС», «Бортек», «Нозель»; японская фирма «Аккерман»; английская фирма «Иесеки-Политех»; канадско-американская фирма «Декон».

Данная технология была применена при строительстве тоннеля под железной дорогой в Перми – одном из крупнейших промышленных центров России. Отсутствие современных развязок и маршрутов для удобного безостановочного движения и плохое состояние городских дорог заставило администрацию города изыскать ресурсы для сооружения крайне необходимой транспортной развязки для пропуска части грузового автомобильного транспорта в обход центральной части города. Развязка включала строительство дополнительно к существующему двух автодорожных тоннелей под железнодорожными путями главного направления Транссибирской магистрали между станциями Пермь и Свердловск. Сооружение тоннелей осуществлялось в стесненных условиях застроенной части города, где имеются подъездные автодороги, железнодорожные пути, многочисленные инженерные сети.

Одним из определяющих условий строительства тоннелей было обеспечение проходки без перерыва движения поездов при осадке железнодорожных путей не более 25 мм и перекосе до 20 мм при установленных скоростях 120 км/ч для пассажирских и 80 км/ч для грузовых составов.

Выполнение основных работ было поручено организациям корпорации «Трансстрой», имеющим опыт проектирования и строительства крупных подземных транспортных объектов в разнообразных градостроительных и природных условиях.

Проблемы слабого основания и высокого уровня грунтовых вод решались с ориентацией на применение имеющегося в стране оборудования, материалов и технологий, в том числе: укрепление слабых грунтов основания путем инъекции карбамидного состава через скважины; уменьшение нагрузки, передаваемой тоннелем на грунты основания, до уровня их несущей способности за

счет оптимизации конструкции тоннеля, передачи нагрузки от всего тоннеля на порталы с использованием высокой продольной жесткости постоянной обделки и труб защитного экрана, усиление основания грунтоцементными сваями.

Сооружение защитного экрана из стальных труб диаметром 1020 мм и толщиной стенки 14 мм выполнялось с применением микрошита диаметром 1025 мм германской фирмы «Херенкнехт». Данный щит работает с системой гидропригруза из бетонной суспензии для удаления разработанного грунта из забоя. Операция должна тщательно контролироваться, а трубы продавливаться вперед с такой же скоростью, с какой грунт разрабатывается машиной. Слишком быстрое продавливание приведет к вспучиванию грунта, особенно при малых глубинах, а слишком медленное – к его переборам и просадкам. Если управление ведется в заданном режиме, то давление воды и грунта оказывается сбалансированным и осадки будут минимальны.

В процессе продавливания трубы экрана соединяли замками. В результате пространство, предназначенное для размещения собственно самого тоннеля, оказалось ограниченным по всему периметру мощной сплошной металлоконструкцией с бетонным заполнением, рассчитанной на восприятие нагрузок от давления грунта насыпи и проходящих поездов без нарушения условий эксплуатации железной дороги при разработке грунта.

После устройства защитного экрана и закрепления грунта инъекцией в него раствора на основе карбамидной смолы приступили к проходке верхнего уступа тоннеля поперечным сечением 47 м<sup>2</sup>. Работы велись заходками по 2 м с применением горно-проходческого комбайна ГПКС и погрузочно-доставочной машины ПД-8. Устойчивость лба забоя при этом обеспечивалась без

дополнительного крепления за счет угла естественного откоса закрепленного грунта (порядка 45°). В процессе разработки породы трубы экрана подкрепляют рамами из двутавровых балок, причем как ригель, так и стойки рам после поддомкрачивания приваривают к трубам, что обеспечивает их совместную статическую работу.

Проходке нижнего уступа предшествовало устройство конструкций порталов и омоноличивание в них концов труб, что, по существу, превратило защитный экран в относительно жесткую единую конструкцию, пространственно работающую в условиях всестороннего отпора грунта.

Заключительный этап сооружения тоннеля – монтаж арматурных каркасов и бетонирование стен и перекрытия – производился индустриальным методом: укладкой бетононасосами высокопластичной бетонной смеси в инвентарную опалубку.

Реализация тоннельного варианта, помимо увеличения пропускной способности автомагистралей, внесла положительный вклад в охрану окружающей среды города, позволяя высвободить городские территории и улучшить их архитектурный вид, повысить безопасность движения транспорта и пешеходов.

Таким образом, опробованная на строительстве тоннеля технология проходки под защитой экрана из труб показала ее высокую безопасность и позволила в сложных инженерно-геологических условиях построить крупногабаритный автотранспортный тоннель в сжатые сроки без перерыва движения на весьма напряженном и ответственном участке железной магистрали. Результат позволяет утверждать, что российские специалисты овладели этим эффективным современным способом сооружения тоннелей под действующими транспортными магистралями.

Научный руководитель д.т.н. проф. *А.Г.Протосеня*