

Технология обеспечения безаварийной эксплуатации тоннелей и подземных сооружений

Л.В. Левицкая¹, Л.С. Сабитов², В.А. Гарькина³,
Н.Н. Бадртдинов⁴, Ф.Ф. Фазылзянов²

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)

² Московский государственный строительный университет

³ Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

⁴ Казанский федеральный университет

Аннотация: Приводится технология обеспечения безаварийной эксплуатации тоннелей и подземных сооружений. Дается анализ различных технических решений использующихся в настоящее время при открытом и полужакрытом способе возведения подземных сооружений транспортного назначения. Предлагаются способы снижения возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации тоннелей и подземных сооружений.

Ключевые слова: строительные конструкции, технология, ремонтные работы, подземные коммуникации, тоннель, метростроение.

Недостатком открытого и полужакрытого способов возведения подземных сооружений транспортного назначения, способствующим снижению их работоспособного технического состояния и эксплуатационной надёжности, является отсутствие возможности нанесения традиционных гидроизоляционных покрытий одностороннего адгезионного закрепления (наплавляемые битумно-полимерные рулоны и напыляемые полимерные составы, в том числе, на основе метилметакрилатных смол, полимочевины, полиуретана и др.) непосредственно на наружных поверхностях таких конструктивных элементов тоннельных обделок как лотковая плита, стеновые конструкции обделки, возведённые без пазух для обратной засыпки грунта, и прижимные стенки несущих «стен в грунте». Это противоречит требованиям СП 120.133309 и обусловлено свойством гидроизоляционных материалов данного вида проявлять способность к адгезионному сцеплению только с поверхностью заранее возведённой, почти сухой (влажность 4-6%) железобетонной конструкции. В связи с этим до возведения рассматриваемых конструкций гидроизоляционное покрытие укладывается или напыляется на

доступные, предварительно отремонтированные и выровненные поверхности бетонной подготовки и «стены в грунте». В результате устроенное таким способом гидроизоляционное покрытие не имеет сплошного адгезионного сцепления с наружными изолируемыми поверхностями перечисленных защищаемых конструкций [1,2]. Отсутствие адгезионного сцепления к наружной поверхности защищаемой конструкции в случае образования проникающего повреждения или дефекта в гидроизоляционном покрытии способствует бесконтрольной миграции просочившихся через них грунтовых вод под гидроизоляционным покрытием и по поверхности защищаемой конструкции, что противоречит требованию СП120.13330.2012 (п. 5.6.3.18) и приводит:

- к обводнению до уровня грунтовых вод наружного контура конструкции;
 - как правило, к проникновению грунтовых вод в тоннельное сооружение через возможные фильтрующие дефекты и конструктивные элементы обводнённых конструкций с образованием на их внутренней поверхности многочисленных водопроявлений различного вида и интенсивности;
 - установление места возникновения указанного типа повреждений или дефекта гидроизоляционного покрытия не представляется возможным, к тому же оно может находиться на отдалённом расстоянии от места водопроявлений. Поэтому устранение обводнённого состояния конструкции невозможно герметизацией локальных очагов водопроявлений и требует выполнения по всей площади обводнённой конструкции площадного инъецирования с применением:
 - инъекционных составов на минеральной основе с целью создания ПФЗ во вмещающем грунте по СП 120.13330;
-

– инъекционно-уплотняющих составов по ГОСТ 33762-2016 на полимерной основе с низкой вязкостью и с высокой проникающей способностью, с классом нагнетаемости менее 1 по ГОСТ 33762.

Устранение опасности возможного обводнения конструкций подземных сооружений транспортного назначения, открытого и полужакрытого способов работ, за счет выше указанных причин, возможно на стадии проектирования объектов путём заложения в проект следующих технических решений [3,4]:

– применение для гидрозащиты проектируемых объектов современных, инновационных гидроизоляционных материалов и систем следующего типа: гидроизоляционная система на основе напыляемых полимерных составов с двухсторонней адгезией, с применением армирующего и усиливающего элемента из геотекстильных иглопробивных тканей;

– в готовой конструкции мембрана армированная геотекстильной тканью, напыленная на поверхность бетонной подготовки без защитного слоя из мелкозернистого бетона, а также на выровненную и подготовленную поверхность «стены в грунте», после бетонирования лотковой плиты и постоянной стеновой конструкции тоннеля или прижимной стенки, оказавшая между двумя стеновыми конструкциями, образует водонепроницаемую надёжную и ремонтпригодную стеновую систему типа «сэндвич» за счёт хорошей адгезии (более 0,5 МПа по СП 120. 13330-2012) как с поверхностью бетонной подготовки и «стены в грунте», так и с наружной, недоступной поверхностью лотковой плиты, постоянной стеновой конструкции тоннеля и прижимной стенки;

– гидроизоляционные системы на основе применения «предустанавливаемых» рулонных (листовых) гидроизоляционных материалов, которые уложенные методом «свободной» укладки на бетонную подготовку и стену в грунте, обеспечивают сплошное адгезионное сцепление

с внешней, недоступной поверхностью свежееотформованных железобетонных конструкций лотковой плиты и несущей стены обделки, возведённой без пазух для обратной засыпки грунта.

В случае проектного решения о применении традиционных гидроизоляционных систем одностороннего адгезионного закрепления на основание из «старого» бетона [5,6], в том числе, при волевом решении, отсутствии альтернативных систем, их дороговизны, новизны и других причин, в проекте рекомендуется заложить монтаж закладных инъекционных систем для подачи инъекционно-уплотняющих составов (как правило из компрессионно-герметизирующей группы по ГОСТ 33762-2016), в шов между гидроизоляционным покрытием и внешней поверхностью ограждающих конструкций тоннельных обделок без доступа для восстановлений наружной гидроизоляции конструкции, в случае их обводнения и проникновения воды внутрь конструкции и сооружения [7,8].

В качестве закладных элементов, могут быть применены инъекционные трубки, заложенные в «теле» защищаемой конструкции под углом 90^0 к инжектируемому шву или монтаж Инжект-системы по схеме для инжектирования данного шва с укладкой инъекционных шлангов между бетонной подготовкой с гидроизоляционным покрытием и лотковой плитой, стеной в грунте с гидроизоляционным покрытием и постоянной стеной без пазух для обратной засыпки грунта, а также прижимной стеной.

При строительстве сооружений с использованием ограждения котлована («стены в грунте») в качестве несущей стеновой конструкции устройство гидроизоляционного покрытия возможно только на внутренней поверхности «стены в грунте», доступного для выполнения ремонтных и гидроизоляционных работ.

Эта особенность конструктивного устройства лишает «стену в грунте» гидроизоляционной защиты от воздействия грунтовых вод, что может

привести к коррозии железобетона, снижению долговечности конструкции и в целом сооружения.

Устранение указанного недостатка с целью повышения эксплуатационной надёжности «стены в грунте» и выполнения функции надёжной несущей стеновой конструкции, находящегося под непосредственным воздействием грунтовых вод, требует выполнения «стены в грунте», с повышенными техническими характеристиками [9,10].

Обеспечение безаварийной проходки горным способом в несвязных грунтах сбойки, соединяющей два близко расположенные подземные сооружения метрополитена.

Решаемая техническая задача, имеющая место на практике: сооружение горным способом тоннеля между двумя подземными сооружениями метрополитена, разделенных на расстояние до 30м ограждениями котлована типа «стена в грунте».

Ограничения и условия для выполнения работ:

- отсутствие возможности сооружения тоннеля открытым способом и выполнения инъекционных работ по закреплению грунтов с дневной поверхности из-за наличия городской и транспортной инфраструктуры, повышенная глубина зоны проходческих работ;
- стесненные условия, неудобства и трудно преодолимые сложности для применения крупногабаритного технологического оборудования и выполнения инъекционных работ по закреплению грунта через горизонтально пробуренные инъекционные скважины;
- наличие грунтового массива из обводненного песка в зоне проходки сбойки.

Рекомендуемое техническое предложение для решения поставленной задачи, включающее:

- поэтапное закрепление грунтового массива, с захватками по 10-15м и диаметром по проекту, по всей длине запланированной зоны проходки сбойки, путем инъецирования грунтового массива акрилатным гелем на водной основе в горизонтальном направлении через пики малого диаметра ООО «ЭМ-См Баухеми»;

- поэтапная проходка сбойки горным способом с применением отбойных молотков;

- пошаговое сооружение в сбойке, выработанной поэтапно захватами по 10-15м, композитной трехслойной тоннельной обделки, устройство которой основано на применение набрызг- бетонной крепи (10-20см), удерживаемой и усиленной стержневой анкерной системой с последующим нанесением на крепь напыляемой гидроизоляции с двухсторонней адгезией и возведением вторичной крепи (обделки), также из набрызг-бетона (20-30см).

Работы по поэтапному инъецированию грунта производиться в одностороннем порядке в направлении противоположного подземного сооружения.

На начальном этапе работ на поверхность ограждения котлована согласно проекту, производится разметка точек инъецирования на площади «инъеционного» круга. После выполнения инъеционных работ, эти расчетные параметры должны обеспечить сплошную пропитку, связывание и закрепление грунта в зоне проходки в форме условного цилиндра, внутри которой, поэтапная проходка сбойки с проектным внутренним диаметром, инъецирование грунта последующей захватки на проходку и сооружение композитной тоннельной обделки будут выполнены в условиях безопасности под защитной окружающего закрепленного грунта [11,12].

После разметки, согласно проекту, в точках инъецирования в СГ, поочередно пробуриваются сквозные шпурь, в которых, через кондуктора, закрепляется инъеционное оборудование и по схеме «снизу-вверх»

производится инъектирование грунта на глубину первой захватки захвата (10-15м) .

Завершение процесса полимеризации акрилатного геля обеспечивает достижение прочности на сжатие закрепленного песка до 13 МПа. Это соответствует прочности бетона и гарантирует безопасную проходку сбойки горным способом с помощью отбойных молотков.

После окончательного закрепления грунта производится вырубка СГ по внешнему контуру круга, выделенного под инъекцию.

Вырубка СГ и доступ к закрепленному грунту позволяет выполнить весь комплекс предлагаемой технологии на первой захватке проходки, в частности, разработку грунта, инъектирование последующей захватки проходки и сооружение композитной обделки в выработанной сбойке.

Данный комплекс работ повторяется на всех последующих захватках (2 или 3 в данном случае) проходки сбойки для сооружения тоннельного объекта по проекту.

Предотвращение вымывания фундамента и осадки строящегося заглубленного сооружения под влиянием течи подземных вод.

Тип строящегося сооружения: наземное сооружение с заглублением подземной части до 10м от уровня земной поверхности, возводимое в котловане открытым способом с пазухами для обратной засыпки грунта. При этом, водоупорный слой грунтового основания, например, из суглинка, расположен условно на глубине 25м от уровня земной поверхности.

Задача: устранение течи подземных вод под фундаментом строящегося сооружения на стадии сооружения котлована. Возможная причина течи подземных вод под фундаментом строящегося сооружения: ограничение участка строительства рекой. Рекомендуемое технологическое решение поставленной задачи:

Сооружение ограждения котлована в виде водонепроницаемой шпунтовой стенки с заглублением до водоупорного грунтового слоя. В качестве материалов шпунтовой стенки для ограждения котлована принимаются шпунтовые сваи из труб. Ограждение котлована выполняется из трубошпунта, с приваренными замковыми соединениями, длиной необходимой для погружения шпунта до твердых слоев грунтового массива (суглинков) с вхождением в них (27м), с целью обеспечением устранения притока воды в котлован через днище [13].

Данные шпунтовые конструкции являются не извлекаемыми и для продления срока эксплуатации ограждения можно предусмотреть его защиту антикоррозийным покрытием.

Перед погружением шпунта в грунт рекомендуется нанести заливочную мастику из эластомерных битумов в замковые соединения, для обеспечения надежной водонепроницаемости конструкции.

Основные операции:

- погружение шпунта ограждения котлована. Производится с помощью двухъярусного кондуктора;
 - откопка котлована после устройства ограждения до проектных отметок. Производится послойно с использованием грейфера. Толщина снимаемого слоя должна быть не более 1,5м. В процессе откопки следует вести постоянный геодезический контроль за перемещением верха шпунтовых свай ограждения котлована, а в углах котлована необходимо устроить приемки для откачки воды, имеющие, например, размеры в плане 1 х 1м и глубиной 0,8 м;
 - закрепление котлована после устранения течи подземных вод. Может производиться путем цементации или смолизации грунта, в зависимости от его характеристик, наличия пустот, а также выбранного метода закрепления грунта.
-

Организация температурно-усадочных швов (ТУШ) - «организованных трещин».

Организация ТУШ предусмотрена для предотвращения хаотичного трещинообразования в ограждающих конструкциях станции, различного раскрытия и глубины, которые могут снижать несущие свойства железобетонных конструкции.

ТУШ образуются в результате развития температурных напряжений, за счет установки концентраторов напряжений, выполненных в виде закладных деталей: металлической полосы (листа) - вариант «а», или профиля стального гнутого – вариант «б».

Данные закладные детали следует располагать по оси рабочих швов перпендикулярно поверхности конструкций и рабочей части гидрошпонки. Металлические профили не должны доходить до гидрошпонки на 5-10 мм, а до поверхности конструкции – на суммарную толщину защитного слоя бетона и распределительной арматуры.

Металлические листы или профили с обеих сторон от гидрошпонки должны быть установлены и закреплены так, чтобы в процессе бетонирования они не меняли пространственное положение и крепились к арматуре только с одной стороны от оси рабочего шва, при этом нельзя изменять расположение арматуры и гидрошпонки. Также необходимо создать пазы на поверхностях ограждающих конструкций (поверхностные концентраторы напряжения) по линии рабочего шва.

В стенах и на нижней поверхности перекрытий такой паз устраивается непосредственно после снятия опалубки в виде штробы глубиной 5-10мм. На верхней поверхности перекрытия и лотка паз устраивается путем установки на стадии бетонирования (предварительно или после прохода виброрейки по забетонированной захватке) извлекаемого треугольного профиля острым концом вниз. Такой профиль должен быть изготовлен из материала,

имеющего минимальную адгезию к бетону, например, из заостренной доски толщиной 40 мм, предварительно обернутой в полиэтилен или пропитанной смазкой.

Литература:

1. Гусев Н.И., Кочеткова М.В., Паршина К.С. Прочность сцепления пенополимерцементных растворов с пенобетонными наружными стенами отапливаемых зданий // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 4. С. 52-56
2. Ведяков И.И., Гукова М.И., Фарфель М.И., Кондрашов Д.В., Яровой С.Н. Обследование конструкций зданий и сооружений завода ОАО "Тагмет" // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 1 (246). С. 58-64.
3. Кочеткова М.В., Гусев Н.И., Снежкина О.В., Паршина К.С. Экспериментальная оценка работы ростверков // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 1. С. 77-81
4. Гучкин И.С., Булавенко В.О. Усиление железобетонной балки стальной затяжкой, накладками и фиброармированным пластиком // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 1. С. 69-74
5. Саденко Д.С., Гарькин И.Н., Арискин М.В. Научно-техническое сопровождение работ по усилению строительных конструкций монолитного многоэтажного жилого дома // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 3 (56). С. 122-127.
6. Кузин Н.Я., Багдоев С.Г. Оценка внешних факторов на несущую способность конструкций гражданских зданий // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2 С.79-82
7. Снегирева А.И., Мурашкин В.Г. К вопросу обследования строительных конструкций, зданий и сооружений // Эксперт: теория и практика. 2021. №6 (15). С. 45-51.

8. Шеина С. Г., Виноградова Е.В., Денисенко Ю.С. Пример применения BIM технологий при обследовании зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037

9. Garkin I.N., Garkina I.A. System approach to technical expertise construction of building and facilities // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. Vol.8. №5. P.213-217.

10. Петрова И.Ю., Мостовой О.О. Обзор процесса проведения обследований зданий и сооружений. Проблемы и пути их решения. // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал. 2013. № 1 (36). С. 12-20.

11. Евсеев А.Е., Гарькин И.Н., Абдуллазянов Э.Ю. Использование дифференциальных уравнений движения тела при определении параметров виброзащиты // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. № 4 (50). С. 127-131.

12. Королев Е.В. Техничко-экономическая эффективность новых технологических решений. Анализ и совершенствование //Строительные материалы. 2017. № 3. С. 85-89.

13. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Experimental studies on High Strength Concrete by Using Recycled Coarse aggregate // Research Inventy: International Journal of Engineering and Science. 2014. Vol. 4. № 1. pp. 27 – 36.

References

1. Gusev N.I., Kochetkova M.V., Parshina K.S. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2014. № 4. pp. 52-56

2. Vedjakov I.I., Gukova M.I., Farfel' M.I., Kondrashov D.V., Jarovoj S.N. Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. 2013. № 1 (246). pp. 58-64.



3. Kochetkova M.V., Gusev N.I., Snezhkina O.V., Parshina K.S. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2014. № 1. pp. 77-81.
4. Guchkin I.S., Bulavenko V.O. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2012. № 1. pp. 69-74.
5. Sadenko D.S., Gar'kin I.N., Ariskin M.V. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2023. № 3 (56). pp. 122-127.
6. Kuzin N.Ja., Bagdoev S.G. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2012. №2. pp. 79-82.
7. Snegireva A.I., Murashkin V.G. Jekspert: teorija i praktika. 2021. №6 (15). pp. 45-51.
8. Sheina S. G., Vinogradova E.V., Denisenko Ju.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 6. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2021/7037
9. Garkin I.N., Garkina I.A. Contemporary Engineering Sciences. 2015. Vol.8. №5. pp. 213-217.
10. Petrova I.Ju., Mostovoj O.O. Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspija: nauchno-tehnicheskij zhurnal. 2013. № 1 (36). pp. 12-20.
11. Evseev A.E., Gar'kin I.N., Abdullazjanov Je.Ju. Inzhenerno-stroitel'nyj vestnik Prikaspija. 2024. № 4 (50). pp. 127-131.
12. Korolev E.V. Stroitel'nye materialy. 2017. № 3. pp. 85-89.
13. Sivakumar N., Muthukumar S., Sivakumar V., Gowtham D., Muthuraj V. Research Inventy: International Journal of Engineering and Science. 2014. Vol. 4. № 1. pp. 27 – 36.

Дата поступления: 12.04.2025

Дата публикации: 25.05.2025