

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>

Russian journal of transport engineering

2019, №3, Том 6 / 2019, No 3, Vol 6 <https://t-s.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/36SATS319.pdf>

DOI: 10.15862/36SATS319 (<http://dx.doi.org/10.15862/36SATS319>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Пестрякова Е.А., Харченко И.Я., Пискунов А.А., Харченко А.И., Бетербиев А.С.-Э., Сонин А.Н. Эффективные способы ликвидации водопроявлений при эксплуатации подземных сооружений // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2019 №3, <https://t-s.today/PDF/36SATS319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/36SATS319

For citation:

Pestryakova E.A., Kharchenko I.Ya., Piskunov A.A., Kharchenko A.I., Beterbiev A.S.-E., Sonin A.N. (2019). Effective methods of elimination of water occurrences in the operation of underground facilities. *Russian journal of transport engineering*, [online] 3(6). Available at: <https://t-s.today/PDF/36SATS319.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/36SATS319

УДК 624.19

ГРНТИ 67.11

Пестрякова Екатерина Алексеевна

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия
Старший преподаватель кафедры «Мосты и тоннели»
E-mail: Kate.pestriakova@gmail.com

Харченко Игорь Яковлевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Начальник отдела Научно-исследовательского института экспертизы и инжиниринга
Доктор технических наук, профессор

Пискунов Александр Алексеевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия
Зав. кафедры «Мосты и тоннели»
Доктор технических наук, профессор

Харченко Алексей Игоревич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Заведующий сектором внедрения Научно-исследовательского института экспертизы и инжиниринга
Кандидат технических наук, доцент

Бетербиев Адам Саид-Эмиевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия
Магистрант кафедры «Механики грунтов и геотехники»
Доктор технических наук, профессор

Сонин Александр Николаевич

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия
Доцент кафедры «Мосты и тоннели»
Кандидат технических наук, доцент

Эффективные способы ликвидации водопроявлений при эксплуатации подземных сооружений

Аннотация. Для выполнения работ по устройству тоннельных сооружений в условиях водонасыщенных неустойчивых грунтов, имеющих характер плавунных, предусмотрена их стабилизация и упрочнение с применением химических методов и технологического оборудования, предназначенного для 2-х компонентной струйной цементации.

Важным фактором, определяющим эффективность применения инъекционных систем на минеральной основе, является их материальная однородность с бетонными ограждающими конструкциями тоннельных сооружений, высокая прочность и долговечность, низкий коэффициент фильтрации, проявление эффекта самозалечивания трещин в бетоне с шириной раскрытия до 1 мм. Главным критерием технологичности инъекционных смесей, предназначенных для ликвидации водопроявлений в тоннельных и притоннельных сооружениях, является низкая вязкость и высокая седиментационная устойчивость, сохраняемая в период до 90 мин., управляемое структурообразование и кинетика набора прочности после завершения инъекционных работ, долговечность, термо-морозостойкость, морозо-солестойкость. Исходя из этих условий, а также с учётом многообразия задач, связанных с ликвидацией водопроявлений в подземных сооружениях, специалистами НИУ МГСУ разработаны и освоены инъекционные смеси на минеральной основе «ПФС+», «Аквабиндер-У», «Аквабиндер-МД», «Интроцем». Нужно отметить, что особо тонкодисперсные вяжущие «Интроцем» разработаны в рамках реализации программы импортозамещения, в качестве альтернативы минеральным вяжущим «Микродур», широко применяемым для приготовления различных инъекционных систем на минеральной основе.

Ключевые слова: метрополитен; напряженно-деформированное состояние грунтового массива; осадочные деформации; метод компенсационного нагнетания

Наиболее эффективным методом ликвидации различного вида водопроявлений в подземных сооружениях, являются комбинация инъекционных технологий с применением минеральных особо тонкодисперсных порошков, а также технологий на основе применения специальных строительных смесей¹ [1; 2; 5]. Это связано с тем, что инъекционные растворы на минеральной основе обладают высокой технологичностью, являются экологически нейтральными, имеют высокую долговечность при более низкой себестоимости по сравнению с полимерными системами² [4]. Специальные тампонажные смеси применяются с целью заполнения крупных пустот, каверн и трещин (первый этап), с последующим инъектированием смесей с применением микроцементов для заполнения капиллярно-пористой структуры и микротрещин как в грунте, так и в железобетонных ограждающих конструкциях. При этом, в зависимости от геотехнических условий и интенсивности водопроявлений, объём потребляемых минеральных вяжущих может изменяться от 20 кг/п.м. тоннеля до 250 кг/п.м. [3; 4].

¹ Projektmanagment of National Asociacion Waterproofing Contractors, Cleveland, OH 44122, 2010 – 140 с.

² Sealant Waterproofong and Restoration Institute (SWRI), Kansas City, MO 64105, 2010 – 210 с.

Важным фактором, определяющим эффективность применения инъекционных систем на минеральной основе, является их материальная однородность с бетонными ограждающими конструкциями тоннельных сооружений, высокая прочность и долговечность, низкий коэффициент фильтрации, проявление эффекта самозалечивания трещин в бетоне с шириной раскрытия до 1 мм. Главным критерием технологичности инъекционных смесей, предназначенных для ликвидации водопроявлений в тоннельных и притоннельных сооружениях, является низкая вязкость и высокая седиментационная устойчивость, сохраняемая в период до 90 мин., управляемое структурообразование и кинетика набора прочности после завершения инъекционных работ, долговечность, термо-морозостойкость, морозо-солестойкость³ [5]. Исходя из этих условий, а также с учётом многообразия задач, связанных с ликвидацией водопроявлений в подземных сооружениях, специалистами НИУ МГСУ разработаны и освоены инъекционные смеси на минеральной основе «ПФС+», «Аквабиндер-У», «Аквабиндер-МД», «Интроцем» [6; 9]. Нужно отметить, что особо тонкодисперсные вяжущие «Интроцем» разработаны в рамках реализации программы импортозамещения, в качестве альтернативы минеральным вяжущим «Микродур», широко применяемым для приготовления различных инъекционных систем на минеральной основе.

«Интроцем» является экологически чистым продуктом, совместимым по минеральному составу с грунтом или бетоном. В зависимости от дисперсности частиц, содержащихся в количестве 95 % и 50 % массы вяжущего, «Интроцем» классифицируется на 3 вида: «Интроцем-Экстра» при $d_{95} \leq 5,5$; «Интроцем-Ультра» при $d_{95} \leq 9,0$; «Интроцем-Стандарт» при $d_{95} \leq 15,5$ [10].

Таблица 1

Основные физико-механические характеристики ОТДВ «Интроцем»

Наименование показателя	Тип ОТДВ		
	Экстра	Ультра	Стандарт
Истинная плотность, г/см ³	2,9	2,9	2,9
Прочность при сжатии, при В/Ц = 0,5, МПа, в возрасте			
1 сут.	≥ 20,0	≥ 10,0	≥ 5,0
2 сут.	≥ 35,0	≥ 30,0	≥ 20,0
7 сут.	≥ 50,0	≥ 45,0	≥ 35,0
28 сут.	≥ 60,0	≥ 55,0	≥ 45,0
Сроки схватывания, при В/Ц = 0,5, мин.			
- начало, не ранее	150	170	180
- конец, не позднее	240	270	300
Свойства инъекционной смеси, при В/Ц = 2,0:			
седиментация через 120 мин., %	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 5,0
время истекания из воронки Марша,			
через 0 мин., сек.	32	33	34,5
через 60 мин., сек.	32,5	33	34,5
через 90 мин., сек.	32,5	33,5	35
Усадка, при В/Ц = 0,5, %	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Морозостойкость, циклов	≥ 150	≥ 150	≥ 150
Водонепроницаемость	W8	W6	W6
Изменение объема	Равномерное		
Прочность на отрыв (сцепления), МПа	≥ 3,5	≥ 5,0	≥ 6,5

Разработано автором

На основании комплексных лабораторных исследований определены эффективные области применения инъекционных смесей на основе ОТДВ «Интроцем» см.

³ Свод правил по проектированию и строительству. Метрополитены, 2004 г., СП 32-105-2004, Москва.

Таблица 2

Эффективные области применения инъекционных смесей на основе ОТДВ «Интроцем»

Условия строительного применения	Тип вяжущего «Интроцем»		
	Экстра	Ультра	Стандарт
Упрочнение грунтов			
Пески пылеватые, маловлажные, влажные, при коэффициенте фильтрации $1,0 \leq K_f \leq 3,0$ м/сут.	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3^* \leq 0,5$ м $R_H^{**} \leq 0,5$ МПа	нет	нет
То же, водонасыщенные	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,3$ м $R_H \leq 0,3$ МПа	нет	нет
Пески мелкие, маловлажные, влажные, при коэффициенте фильтрации $2,0 \leq K_f \leq 5,0$ м/сут.	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,7$ м $R_H \leq 0,5$ МПа	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,6$ м $R_H \leq 0,5$ МПа	нет
То же, водонасыщенные	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,5$ м $R_H \leq 0,3$ МПа	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,4$ м $R_H \leq 0,3$ МПа	нет
Пески средней крупности, маловлажные, влажные, при коэффициенте фильтрации $4,0 \leq K_f \leq 15,0$ м/сут.	нет	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,7$ м $R_H \leq 0,5$ МПа	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,6$ м $R_H \leq 0,5$ МПа
То же, водонасыщенные	нет	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,4$ м $R_H \leq 0,3$ МПа	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,5$ м $R_H \leq 0,3$ МПа
Пески крупные, маловлажные, влажные, при коэффициенте фильтрации $10,0 \leq K_f \leq 30,0$ м/сут.	нет	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,8$ м $R_H \leq 0,5$ МПа	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,7$ м $R_H \leq 0,5$ МПа
То же, водонасыщенные	нет	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,7$ м $R_H \leq 0,3$ МПа	$V/C = 3,0 \div 5,0$ $R_3 \leq 0,6$ м $R_H \leq 0,3$ МПа
Ликвидация водопроявлений в бетонных и железобетонных конструкциях			
Раскрытие трещин до 1,0 мм	$V/C = 0,7 \div 1,0$ $R_H \leq 1,5$ МПа	нет	нет
Раскрытие трещин до 2,0 мм	$V/C = 0,7 \div 1,0$ $R_H \leq 1,2$ МПа	$V/C = 0,7 \div 1,0$ $R_H \leq 1,2$ МПа	нет
Раскрытие трещин до 3,0 мм	$V/C = 0,7 \div 1,0$ $R_H \leq 1,0$ МПа	$V/C = 0,7 \div 1,0$ $R_H \leq 1,0$ МПа	$V/C = 0,7 \div 1,0$ $R_H \leq 1,0$ МПа

Разработано автором

Готовая к употреблению сухая смесь «Аквабиндер-У», представляет собой композиционное минеральное вяжущее для приготовления инъекционных растворов с регулируемыми сроками схватывания и затвердевания. Материал предназначен для стабилизации и упрочнения водонасыщенных грунтов, включая грунты плавунного типа. «Аквабиндер-У» состоит из силикатов и алюминатов кальция, биокремнезема, а также химических добавок (модификаторов вязкости, седиментации, прочности). Инъекционный раствор, в зависимости от геотехнических условий и технологии применения, приготавливается с водовязущим отношением $V/B = 0,8 \div 2,5$. При этом, инъекционная смесь обладает высокой технологичностью, проникающей способностью в структуру грунта, ускоренной гидратацией, способностью к химическому и физико-химическому связыванию воды, находящейся в капиллярно-поровом пространстве грунта. Отличительной особенностью является её интенсивное загустевание после завершения инъекционных работ. Раствор может применяться при температуре наружного воздуха до -15 °С и используется как в манжетной технологии, так и в струйной цементации «Jet-1». Это является особенно актуальным при производстве работ по стабилизации и упрочнению водонасыщенных грунтов, обладающих плавунными свойствами. После нагнетания в структуру грунта или заобделочное пространство, наступает фаза ускоренной гидратации, сопровождающаяся связыванием частиц

грунта, интенсивным ростом кристаллогидратов и затвердеванием. Это исключает размывание сформированного грунтобетонного массива и обеспечивает сохранение его проектных геометрических параметров в неустойчивых водонасыщенных грунтах плавунного типа.

Для выполнения работ по устройству тоннельных сооружений в условиях водонасыщенных неустойчивых грунтов, имеющих характер плавунных, предусмотрена их стабилизация и упрочнение с применением химических методов и технологического оборудования, предназначенного для 2-х компонентной струйной цементации. В качестве инъекционного материала применяется 2-х компонентное композиционное вяжущее «АкваБиндер-МД» (ТУ 5744-021-43260800-2015), предназначенное для стабилизации водонасыщенных и плавунных грунтов: компонент «А» представляет собой готовую к употреблению минеральную сухую смесь, содержащую в своём составе химически активный кремнезём, и компонент «Б», являющийся активатором гидратационного твердения кремнезёма и минеральной части композиционного вяжущего. Через инъекционную форсунку одновременно подаются 2 компонента (компонент «А» и компонент «Б»), которые смешиваются с водонасыщенным грунтом и обеспечивают его быстрое загустевание, стабилизацию структуры с прочностью при сжатии через 30 мин не менее 0,01 МПа, а через 3 сут. – не менее 0,07 МПа. В проектном возрасте прочность грунта составляет 0,1...1,5 МПа, в зависимости от соотношения компонентов и режима струйной цементации. Сетка инъекционных скважин назначается из условия обеспечения сплошности массива, при эффективном диаметре распространения струи 600–1000 мм.

Как показывает анализ, наиболее эффективным проектным решением является комбинированное применение обычных цементов в составе тампонажных смесей для предварительной цементации с целью заполнения крупных пустот, каверн и трещин (первый этап) и последующим инъецированием с применением микроцементов для заполнения капиллярно-пористой структуры и микротрещин как в грунте, так и в железобетонных ограждающих конструкциях.

Полиуретановые смолы находят эффективное применение для ликвидации активных протечек воды. К этому типу полиуретановых смол требования по долговечности не предъявляются. Затем, после остановки притока воды, выполняется основное нагнетание микроцементов для обеспечения длительной и эффективной герметизации сооружения. К сожалению, в настоящее время отсутствуют результаты экспериментальных исследований морозостойкости и термоморозостойкости полиуретановых смол, а практика многолетних наблюдений не позволяет сделать однозначный вывод об их долговечности.

Для ликвидации зон разуплотнения заобделочного пространства, сформированных вследствие суффозионного разуплотнения, также применялись инъекционные смеси на основе бентонита. Бентонит традиционно используется для обеспечения водонепроницаемости подземных сооружений в тампонажных растворах для обеспечения их стабильности (седиментационной устойчивости), сдерживая процесс водоотделения за счёт развитой поверхности частиц, способной адсорбировать значительное количество воды. Наибольшее практическое применение имеет натриевая бентонитовая глина, способная увеличивать объём после смешивания с водой до 10 раз. В этой связи, основной областью применения бентонитовых смесей является устройство гидроизоляционных отсеков на стадии строительства и ремонта после ликвидации активного водопроявления при незначительных коэффициентах фильтрации грунта. В связи с тем, что инъекционные смеси на основе бентонита в обводнённых условиях значительно увеличивается в объёме, но не твердеют, их применение возможно только после ликвидации активных водопроявлений. Кроме того, для обеспечения надёжного гидроизоляционного слоя необходимо обеспечить сплошное нагнетание материала в заобделочное пространство с обеспечением «нахлёста» между

соседними зонами нагнетания не менее 30 %. В связи с тем, что материал имеет высокую вязкость и нагнетается при повышенном давлении, оценка сплошности гидроизоляционного экрана должна быть предметом самостоятельного исследования, так как именно это является определяющим фактором для достижения поставленной цели. Кроме того, обеспечение эксплуатационной надёжности инъекционных систем на основе бентонита возможно только при положительных температурах при исключённом переменном увлажнении-высушивании.

Эффективной тампонажной смесью, обладающей гидратационным твердением, является инъекционная смесь «ПФС+». На основании выполненных исследований установлены реологические характеристики «ПФС+», которые определяют эффективные области его применения. В качестве раствора для ликвидации пустот и разуплотнений грунта в заобделочном пространстве тоннельных сооружений применяются растворы с водовязущим отношением В/В = 1,0...2,5, в зависимости от проектной прочности. На основании экспериментальных исследований установлено, что «ПФС+» с водовязущим отношением В/В = 2,5 и более обладает условной вязкостью по воронке Марша сопоставимой с условной вязкостью воды (рис. 1).

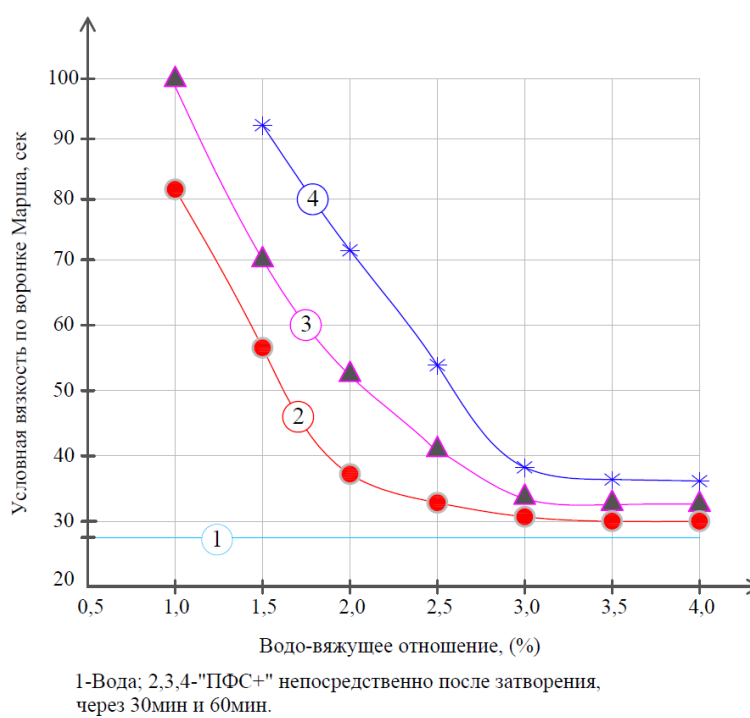


Рисунок 1. Влияние В/В на условную вязкость по воронке Марша при $T = 20^{\circ}\text{C}$ (разработано автором)

Такая инъекционная смесь может применяться как с применением односторонних разжимных или забивных пакеров, так и по манжетной технологии закрепления грунтов с формированием грунтобетонных массивов диаметром до 1,5 м и более.

Одним из характерных примеров, демонстрирующих эффективность применения комбинированной технологии цементации для ликвидации водопроявлений, является ликвидация водопроявлений в автотранспортном Алабяно-Балтийском тоннеле, входящим в состав транспортной развязки в районе станции метро "Сокол" в г. Москве. Тоннель имеет длину 450 п.м., ширину 31,6 м, высоту 5,4 м, с глубиной заложения поверхности дорожного покрытия от поверхности 24,55 м. Тоннель является однопролетным сооружением с несущими железобетонными монолитными конструкциями: монолитной железобетонной плитой в основании тоннеля, вертикальными стенами толщиной 400...600 мм из бетона В30, W8...12 и ограждающими конструкциями котлована тоннеля из одного ряда буронабивных свай

Ø830...1000 мм и двух-трех рядов грунтоцементных свай Ø800, выполненных по технологии Jet-1. В соответствии с проектом гидроизоляция тоннеля – битумно-полимерная, наносилась методом набрызга. Перекрытие представлено железобетонной монолитной плитой толщиной 800 мм из бетона В35 W12. Гидроизоляция – 2 слоя гидроизола. Площадка строительства в геоморфологическом отношении залегает в пределах третьей надпойменной террасы р. Москвы. Абсолютные отметки поверхности 153,61...161,40 м. Вдоль трассы тоннеля по ул. Балтийская проходит пойма р. Таракановки. В геологическом строении территории принимают участие отложения четвертичного, юрского и каменноугольного возраста. Четвертичные отложения представлены современными аллювиальными, озерно-ледниковыми и флювиогляциальными грунтами. Сверху они перекрыты техногенными отложениями – насыпными песками и супесями толщиной слоя 0,4...0,9 м. Аллювиальные отложения представлены песками мелкими с коэффициентом фильтрации 1,3...1,9 м/сут., песками средней крупности с коэффициентом фильтрации до 4,3 м/сут., а также супесями пластичными и текучими, общей толщиной слоя 1,0...10,5 м.

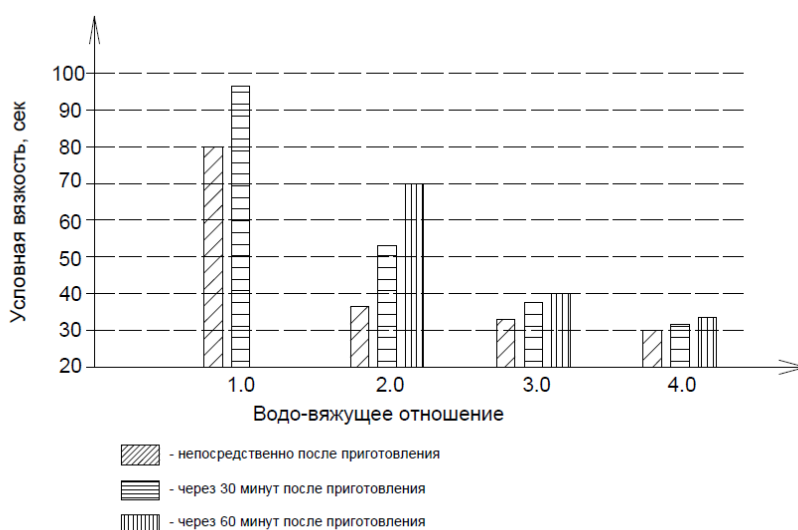


Рисунок 2. Влияние В/В на условную вязкость инъекционной смеси на основе ПФС+ (разработано автором)

Эксплуатационная пригодность тоннельных сооружений существенно ограничивалась значительными водопрооявлениями через деформационные швы, а также многочисленные трещины и дефекты структуры бетона, распределённые по поверхности вертикальных и потолочных железобетонных ограждающих конструкций.

С целью разработки проекта ликвидации водопрооявлений было выполнено комплексное инструментально-визуальное обследование тоннельных сооружений с применением технологии сплошного лазерного автоматизированного сканирования, позволяющей фиксировать различные дефекты и нарушения в конструкциях с большой детализацией и точностью без перерыва в режиме эксплуатации тоннелей, которое было дополнено определением фактического класса бетона (методами неразрушающего контроля и методом отрыва со скалыванием). Кроме того, с применением метода электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования были выявлены зоны разуплотнения заобделочного пространства, образовавшиеся вследствие развития суффозионных процессов, сопровождающих водопрооявления через ограждающие конструкции.

По результатам этих работ дана оценка фактического состояния с оценкой несущей способности конструкций тоннеля. На этом основании была сформирована классификация выявленных дефектов по степени их влияния на надежность и долговечность конструкций,

разработаны проектные решения по ремонту и восстановлению эксплуатационной надёжности обделки тоннеля.

В результате обследования были выявлены следующие наиболее характерные дефекты и повреждения:

- трещины в несущих конструкциях тоннеля (в перекрытиях, стенах и ригелях) с шириной раскрытия до 2,0 мм;
- водопроявления различного характера и интенсивности через рабочие и деформационные швы и трещины (на карте дефектов обозначены как «проникновение»). В местах протечек, большая часть которых имеет интенсивность не более 5 л/час, наблюдается выщелачивание;
- сколы бетона (без обнажения рабочей арматуры и с площадью скола не более 0,5 м²).

В соответствии с разработанным проектом предусматривалось реализовать комплексную технологию для ликвидации водопроявлений и восстановлению качества железобетонных конструкций с применением инъекционных систем как на полимерной, так и на минеральной основе.

Зоны разуплотнений заобделочного пространства с поглощением инъекционной суспензии более 5 л/мин. при давлении менее 1 МПа заполняются составом "ПФС+", при более интенсивном поглощении – тампонажными смесями на основе портландцемента типа "БИРС ТМ". После ликвидации зон разуплотнения грунтов, предусмотрена инъекция суспензии "Интроцем-Экстра" на основе микроцемента. При этом, водный поток переносит микроцемент в места водопроявлений (неплотности бетона, сквозные трещины, неплотности холодных швов бетонирования и т. д.), что сопровождается кольматацией дефектов в железобетонных ограждающих конструкциях. Затвердевая, микроцемент образует равнопрочную с телом конструкции пломбу. Это позволяет ликвидировать водопроявления и восстановить сплошность и прочность бетона в конструкциях используя известный в бетоневедении принцип "самозалечивания".

В соответствии с разработанным проектом предусматривалось проведение работ по ликвидации водопроявлений в три этапа:

Этап 1 – заполнительная инъекция смесью твердеющего материала на минеральной основе типа "ПФС+" или "БИРС ТМ" в зону контакта внутреннею железобетонного ограждения тоннеля и внешнего ограждения и железобетонных бурокасательных и грунтоцементных свай, с последующим инъецированием водной суспензии на основе ОТДВ "МикродурR-X" или «Мнтроцем-Экстра».

Этап 2 – в случае, если на этапе 1 не ликвидировано водопроявление – обуривание, расшивка дефектов в железобетонных конструкциях и инъецирование через эти дефекты водной дисперсии микроцемента типа "МикродурR-X" или «Интроцем-Экстра».

Этап 3 – в случае, если после выполнения работ на этапе 2 имеют место остаточные водопроявления – покрытие по слою грунтовки внутренней бетонной поверхности тоннеля напыляемой гидроизоляционной мастикой типа «Eliminator NF» для исключения намочания бетонной поверхности за счет капиллярного подсоса влаги через структуру бетона.

Параллельно с этапами 1–3, проект предусматривал восстановление гидроизоляции в деформационных швах путем инъекции эластичного гидроизоляционного материала типа "МС-InjektGL-95TX". Инъекция производится в деформационных швах через специально пробуренные под углом 32° шпурсы с установкой пакеров.

В соответствии с проектом предусматривалось выполнить ремонт деформационных швов общей длиной 974 п.м., и ликвидировать водопроявления через тело ограждающих конструкций общей площадью 1 562 кв. м. Как показал анализ результатов выполненных работ, на всех участках тоннельных сооружений, на которых проектные решения были реализованы в полном объеме, водопроявления были полностью устранены. При этом, в зависимости от геотехнических условий и интенсивности водопроявлений, суммарный объем потребляемых инъекционных смесей на минеральной основе составляет от 20... 250 кг/п.м. тоннеля.

Выводы

На основании выполненных исследований и анализа результатов производственного опыта установлено, что для ликвидации активных водопроявлений, в качестве превентивной меры, целесообразно использовать инъекционные системы на полимерной основе, с последующим применением специальных тампонажных смесей и особо тонкодисперсных минеральных вяжущих, обеспечивающих ликвидацию суффозионных разуплотнений в заобделочном пространстве, полное устранение водопроявлений и восстановление эксплуатационной пригодности тоннельных и притоннельных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дэвик, К., Андерссон, Х.: «Городские дорожные тоннели – подземное решение надземных проблем», Норвежское общество тоннелестроения, №12, Осло, 2002. – с. 23–34.
2. Карлсруд, К.: «Контроль водопроявлений при строительстве тоннелей в черте города Осло», Норвежское общество тоннелестроения, №12, Осло, 2002. – с. 13–22.
3. Толппанен, П., Сыржаенен, П.: «Практика цементации тоннелей в Финляндии, Швеции и Норвегии», MTR Julkaisut N:RO 1, 2006, – 154 с.
4. Битнес, А.: «Практика строительства протяжённых тоннелей в Норвегии», Tunnels and Tunneling International, Juni 2005 – 210 с.
5. Кубал, М.: «Гидроизоляция зданий и конструкций», М., Техносфера, 2012 – 600 с.
6. Lev Alimov, Igor Kharcenko and Viktor Voronin: Nanomodified compositions based on finely dispersed binders for soil reinforcement, MATEC Web of Conferences 106, 02004 (2017) SPbWOSCE-201.
7. Харченко И.Я., Кривчун С.А., Бурьянов А.Ф., Харченко А.И.: Структура и свойства грунтобетонов для освоения подземного пространства в условиях плотной городской застройки. Межд. научн. Конф. «Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании». Москва, 16–17.11.2016. стр. 722–228.
8. Панченко А.И., Харченко И.Я., Алексеев С.В.: Микроцементы, – М.: Изд. АСВ, 2014, – 76 с.
9. Harcenko A.I., Vagenov D.A., Sugkoev Z.A.: Kompositbindemittel fur Hochdruckinjektionen bei wassergesatigten Boden. 19. Internationale Baustofftagung “IBAUSIL”, 13.09.–16.09.2015, Weimar, s. 367–374.
10. Харченко И.Я., Кривчун С.А., Харченко А.И.: Технология и свойства композиционных вяжущих для уплотнения и упрочнения грунтов при освоении подземного пространства // 1 Международная научно-практическая конференция ИНТЕРМЕТРО «Перспективы развития метрополитена в условиях интенсивного внедрения новых технологий», 17–18.12.2015, Москва.

Pestryakova Ekaterina Alekseevna

Russian university of transport, Moscow, Russia
E-mail: Kate.pestriakova@gmail.com

Kharchenko Igor Yakovlevich

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia

Piskunov Aleksandr Alekseevich

Russian university of transport, Moscow, Russia

Kharchenko Alexey Igorevich

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia

Beterbiev Adam Said-Emievich

National research Moscow state university of civil engineering, Moscow, Russia

Sonin Aleksandr Nikolaevich

Russian university of transport, Moscow, Russia

Effective methods of elimination of water occurrences in the operation of underground facilities

Abstract. For the execution of the works on the tunnel structures under water-saturated unstable soils of the nature plavannya, provided for their stabilization and strengthening with the use of chemical methods and technological equipment for 2-component jet grouting.

An important factor determining the effectiveness of mineral-based injection systems is their material homogeneity with concrete enclosing structures of tunnel structures, high strength and durability, low filtration coefficient, manifestation of the effect of self-healing cracks in concrete with a width of up to 1 mm. The main criterion of manufacturability of injection mixtures designed to eliminate water seepage in the tunnel and peritoneal structures, is a low viscosity and a high sedimentation stability, stored for up to 90 min controlled structure and kinetics of curing after injecting works, durability, thermo frost, frost-salt resistance the. Based on these conditions, as well as taking into account the variety of tasks associated with the elimination of water in underground structures, experts, our UNIVERSITY developed and mastered the injection of a mixture of mineral-based "SFC+", "Aqualiner-U", "United Aqualiner-MD", "Intracom". It should be noted that particularly finely dispersed binders "Intracom" was developed in the framework of the program of import substitution, as an alternative mineral binder "microdur the" widely used for making various injection systems mineral Foundation.

Keywords: underground; stress-strain state of soil; sedimentary deformation; method of compensation injection

REFERENCES

1. Dehvik K., Andersson Kh. (2002). City road tunnels are an underground solution to elevated problems. *Norwegian Tunneling Society*, №12, pp. 23–34 (in Russian).
2. Karlsrud K. (2002). Water monitoring during the construction of tunnels in the city of Oslo. *Norwegian Tunneling Society*, №12, pp. 13–22 (in Russian).
3. Tolppanen P., Syrzaenen P. (2006). Tunneling cementation practices in Finland, Sweden and Norway. *MTR Julkaisut N: RO*, 1, p. 154 (in Russian).
4. Bitnes A. (2005). The practice of building long tunnels in Norway, *Tunnels and Tunneling International*, p. 210.
5. Kubal M. (2012). Gidroizolyatsiya zdaniy i konstruktsiy. [*Waterproofing of buildings and structures.*] Moscow: Technosphere, p. 600.
6. Lev Alimov, Igor Kharchenko, Viktor Voronin (n.d.). *Nanomodified compositions based on finely dispersed binders for soil reinforcement*. MATEC Web of Conferences 106, 02004 (2011) SPbWOSCE-201.
7. Kharchenko I.Ya., Krivchun S.A., Bur'yanov A.F., Kharchenko A.I. (2016). Struktura i svoystva gruntobetonov dlya osvoeniya podzemnogo prostranstva v usloviyakh plotnoy gorodskoy zastroyki. [*The structure and properties of soil concrete for the development of underground space in a dense urban area.*] Moscow, pp. 722–728.
8. Panchenko A.I., Kharchenko I.Ya., Alekseev S.V. (2014). Mikrotsementy. [*Microcements.*] Moscow: ASV, p. 76.
9. Harcenko A.I., Bagenov D.A., Sugkoev Z.A. (2015). *Composite binders for high-pressure injections in water-saturated soil*. Weimar, pp. 367–374.
10. Kharchenko I.Ya., Krivchun S.A., Kharchenko A.I. (2015). Tekhnologiya i svoystva kompozitsionnykh vyazhushchikh dlya uplotneniya i uprochneniya gruntov pri osvoenii podzemnogo prostranstva. [*Technology and properties of composite binders for compaction and hardening of soils during the development of underground space.*] Moscow.