

Журнал

Тоннельной ассоциации России, входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

Председатель редакционной коллегии

К. Н. Матвеев, председатель правления ТАР

Зам. председателя редакционной коллегии

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

Ответственный секретарь

С. В. Мазеин, доктор техн. наук, зам. руководителя Исполнительной дирекции

Редакционная коллегия

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук

В. В. Внутских

С. А. Жуков

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

Ю. Н. Малышев, академик РАН

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

А. Ю. Старков

Б. И. Федунец, доктор техн. наук

Т. В. Шепитько, доктор техн. наук

Ш. К. Эфендиев

Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172

факс: (495) 607-3276

www.rus-tar.ru

e-mail: info@rus-tar.ru

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71

127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,

оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

Генеральный директор

О. С. Власов

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов журнала только с письменного разрешения издательства

© ООО «Метро и тоннели», 2019

Строительство метро

На «Авиамоторной» и «Лефортово» завершаются основные строительные работы **2**

Метро в аэропорту Внуково построим мы **4**

Новые станции Петербургского метрополитена **7**

В Тоннельной ассоциации России

Освоение подземного пространства - возможность для строительной отрасли **11**

Научно-технический форум «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства» **12**

А. Б. Лебедев, С. В. Мазеин

Геотехника

О нормативах на смещение рельсовых нитей метрополитена при его эксплуатации **18**

В. А. Гарбер

Применение риск-ориентированного подхода при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей **20**

М. О. Лебедев, К. В. Романевич

Новые материалы

Передовые методы строительства и капитального ремонта гидроизоляции инновационными материалами ГСН. Эксклюзивная российская разработка **23**

Инновационная гидроизоляционная система для подземных сооружений транспортного назначения **26**

Д. С. Конюхов, Т. Е. Кобидзе

Основные качественные показатели минеральных инъекционных вяжущих **30**

А. П. Нефедьев, А. К. Нефедьева, С. И. Баженова

Щитовая проходка

Расчет давления активного пригруза забоя ТПМК в условиях плотной городской застройки **34**

Д. С. Конюхов, А. Г. Полянкин,

О. С. Федянин, А. М. Потокина

Ремонт водовода Делавэр. Достижения в области механизированной проходки. Бурение с применением ТБМ в скальных породах с высоким давлением воды и высоким водопритоканом на проекте под рекой Гудзон в Нью-Йорке **36**

Дэвид Тербович, Марино Скальпи и Тайлер Санделл

Основные технологические решения при выводе ТПМК с трассы тоннеля в демонтированный котлован **42**

А. А. Долев

Книжная полка

Все о транспортных тоннелях **48**

В. В. Космин

Партнеры Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой



СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Разборка тоннеля в теле станции «Дунайская», Санкт-Петербург (с. 7)

НА «АВИАМОТОРНОЙ» И «ЛЕФОРТОВО» ЗАВЕРШАЮТСЯ ОСНОВНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ



Генеральный директор АО «Мосметрострой» Сергей Анатольевич Жуков рассказал в интервью журналу «Метро и тоннели» о ключевых объектах строительства компании и сложностях работы за рубежом.

– Сергей Анатольевич, как обстоят дела на пусковых станциях Большой кольцевой линии метрополитена?

– На «Авиамоторной» и «Лефортово» подходят к завершению работы по сооружению монолитных конструкций. Параллельно идет обратная засыпка, монтаж инженерного оборудования и коммуникаций, а также архитектурная отделка станций. Планируем до конца года справиться с поставленными задачами.

– Что происходит на продлении Люблинско-Дмитровской линии?

– Тоннелепроходческий механизированный комплекс «Клавдия» прошел свыше 600 м в сторону «Лианозово». Для усиления конструкции из-за большого водопритока первые

128 колец тоннеля были смонтированы из чугуна, остальные железобетонные. Однако перед тем как дойти до цели, щит должен преодолеть еще одну ограждающую стену будущей станции «800-летие Москвы». Первую преграду прошел перед площадкой № 33. Для машины с таким рекордным количеством проходки как у «Клавдии» – прекрасный результат.

– Расскажите, пожалуйста, о реконструкции Каховской линии. Что сейчас происходит на ней?

– На трех станциях «Каховская», «Варшавская», «Каширская» демонтируется оборудование, снимается старая облицовка со стен, колонн, потолков, платформы и идет подготовка к прокладке новых тоннелей для интегра-





Демонтаж Каховской линии



Люблинско-Дмитровская линия. Освоение строительной площадки

ции в Большую кольцевую линию. Планируем уже весной следующего года приступить к проходке двух тоннелей от электродепо Каховское до камеры съездов между «Каховской» и «Варшавской». Новые тоннели построят взамен существующих, которые имеют малый радиус поворота и не выдерживают современных стандартов строительства.

– Известно, что Мосметрострой сегодня работает и за рубежом. Где сложнее работать – там или в Москве?

– Строительство объектов за рубежом имеет свою специфику. Мировой опыт показывает, что работать на зарубежных контрактах своими силами экономически нецелесооб-

разно ввиду возникающих значительных дополнительных расходов, связанных с мобилизацией техники и оборудования, инженерно-технических и рабочих кадров, проживанием персонала, оформлением трудовых виз, командировочными расходами, налогами и другими накладными затратами. Поэтому ведущие мировые строительные компании при реализации иностранных контрактов занимаются в основном инжинирингом: управлением проектом, обеспечением поставок, координацией работ исполнителей, контролем расходов, приемкой работ и следят за качеством и соблюдением графика. А непосредственно для выполнения строительно-монтажных работ привлекаются местные компании, облада-

ющие необходимыми компетенциями. Такие же подходы использует и Мосметрострой при реализации зарубежных проектов. В этом главное отличие и сложность работы за рубежом: если в Москве мы практически все выполняем собственными силами, знаем на что способны наши подразделения и уверены в достижении положительного конечного результата, то основная главная сложность реализации проектов в других странах – выбрать правильного партнера, организовать и обеспечить его слаженную работу в рамках контрактной цены и сроков.



Текст подготовлен пресс-службой АО «Мосметрострой» Н. С. Король

МЕТРО В АЭРОПОРТУ ВНУКОВО ПОСТРОИМ МЫ



ООО «ИБТ» продолжает реализацию самого масштабного в мире проекта по строительству метро – Большой кольцевой линии. В зоне ответственности – Южный участок с тремя станциями: «Зюзино», «Воронцовской» и «Улицей Новаторов». Однако этой осенью объем работ значительно увеличился – компания выиграла тендер на производство строительно-монтажных работ на новом участке Калининско-Солнцевской линии протяженностью почти 5,5 км с двумя станционными комплексами: «Пыхтино» и «Внуково». О новых площадках, а также объектах в работе рассказал главный инженер ООО «ИБТ» Александр Павлович Северин.

– Александр Павлович, сколько объектов сейчас в работе у ООО «ИБТ»? Насколько это большой объем, исходя из Вашего личного опыта работы?

– Сейчас у нас в работе пять станций: три – на Южном участке Большой кольцевой линии и две – на Калининско-Солнцевской линии. Это, конечно, большие объемы работ, которые налагают серьезную ответственность за выполнение поставленных задач в установленные сроки. По своей практике могу сказать: вести пять объектов одновременно – работа сложная как инженерная, так и социальная. Но опыт нашей

компании и высококвалифицированных специалистов в частности позволяет выполнять все виды строительных работ качественно и в срок.

– В чем особенность строительства станций?

– Начнем с Южного участка БКЛ. Здесь очень много коммуникаций: электрические сети, сети связи, теплосети, водопровод, канализация, газопроводы низкого и высокого давления. Немаловажен и социальный момент. Площадки находятся на расстоянии 3–5 м от жилых зданий и строений, что пе-

Станция метро «Улица Новаторов»



риодически вызывает различные вопросы со стороны жильцов. Мы плотно занимаемся этими вопросами и оперативно их решаем. Активно работаем с администрацией района, управой, местными жителями. Идем на компромиссы, ищем варианты решения благоустройства придомовых территорий в соответствии с многочисленными пожеланиями граждан.

Станция «Внуково» находится в непосредственной близости к аэропорту, а точнее на месте стоянки автомобилей. То есть пассажиры, выходящие из метро, по переходу должны попадать сразу в пассажирский терминал. Здесь появятся сложности, связанные с интеграцией строящейся станции в действующий аэропорт, но, думаю, что эти вопросы будут решены.

У станционного комплекса «Пыхтино» небольшая сложность в том, что часть путей метрополитена будет проложена по мостовому переходу через речку.

– Какие работы ведутся на площадках?

– На «Зюзино», «Воронцовской», «Улице Новаторов» закончены все земляные работы, завершено устройство ограждающих конструкций котлована. Сейчас ведется сооружение монолитных железобетонных конструкций. Готовность участка оцениваем в 20 %.

По «Внуково» и «Пыхтино» осваиваем площадки, реализуем подготовительный этап, и к концу года приступаем к сооружению ограждающих конструкций котлованов по станции «Пыхтино».

– Александр Павлович, аэропорт – это же стратегический объект страны. Инженерных коммуникаций там наверняка бесчисленное множество! Как бу-

Станция метро «Воронцовская»



Дружный коллектив ООО «ИБТ»



Монтаж головной части ТПМК «Роза»





Станция метро «Зюзино»



Монтаж ротора ТПМК «Роза»



Калининско-Солнцевская линия метрополитена, станция «Внуково»

дете решать вопрос с ними? Закрывать аэропорт?

– Действительно, инженерии конкрет-но на этом участке очень много. Здесь ли-нии электропередач, газопровод, водо-провод, канализационный коллектор и линии связи. Такое множество коммуни-каций будет усложнять строительство, но мы не видим в этом серьезного препят-ствия для невыполнения работ, так как на все выносы инженерных сетей выданы проектные решения, учитывающие осо-бенности их прохождения.

– Каким образом новый участок бу-дет соединяться с действующим, где пока конечной станцией является «Рассказовка»?

– Интеграция будет осуществляться через два перегонных тоннеля. А они, в свою оче-редь, будут интегрированы в действующие оборотные тупики станции «Рассказовка». Такое проектное решение уже было предус-мотрено на этапе строительства самой «Рассказовки».

– Александр Павлович, каковы сроки сдачи объектов в эксплуатацию? Успеете ли?

– Южный участок Большого кольца ме-тро мы сдаем в 2021 г. Сроки реальные, на-пряженные. Строительство ведется в соот-ветствии с директивным графиком. На данном этапе отставаний нет. Что касает-ся новых станций на желтой ветке, то их мы планируем открыть в 2022 г. Со всеми трудностями справимся, все проекты ус-пешно реализуем.



НОВЫЕ СТАНЦИИ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*Уважаемые коллеги ОАО «Метрострой» Санкт-Петербурга!
Поздравляем с пуском новых станций!*



Разборка тоннеля в теле станции «Дунайская»

3 октября 2019 г. Петербургский метрополитен пополнился тремя новыми станциями: «Прспект Славы», «Дунайская» и «Шушары».

Справка

Фрунзенский радиус, на котором располагаются станции, является южным участком Фрунзенско-Приморской («фиолетовой») линии метрополитена Санкт-Петербурга (линия 5).

Пропускная способность участка линии – 40 пар поездов в час.

Суточный объем пассажирских перевозок – около миллиона пассажиров.

Согласно проекту, разработанному петербургским институтом ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», новый участок Петербургского метрополитена имеет протяженность 5,23 км, из которых 3,79 км – это двухпутный тоннель. Для реализации проекта ОАО «Метрострой» совместно с компанией «Херренкнехт АГ» (Германия) создали ТПМК S-782. Имя ему дали очень символичное – «Надежда». Подписание контракта на создание комплекса прошло в Петербурге с участием экс-канцлера Германии Герхарда Шредера.

В 2013 г. началась подготовка к строительству. Маршрут определили от конечной станции «Шушары» (в проекте – «Южная») в сторону станции «Прспект Славы». Трасса



Склад обделки для проходки тоннеля на площадке станции «Южная»



Станция «Проспект Славы»



Станция «Дунайская»

Станция «Шушары»



тоннеля постепенно заглублялась: от стартового котлована, расположенного на глубине 20 м (что обусловлено наземным расположением станции «Шушары» и отсутствием застройки вокруг площадки), до демонтажной камеры у станции «Проспект Славы» глубиной залегания более 60 м. Щиту предстояло пройти под Кольцевой автодорогой и жилыми массивами Фрунзенского района.

При сооружении стартового котлована ввиду наличия слабых водонасыщенных торфянистых грунтов выполнили устройство стены в грунте и струйную цементацию. Далее произвели откопку котлована, в котором соорудили постоянные железобетонные конструкции. Монтаж щита осуществлялся силами филиала ОАО «Метрострой» – Управления механизации при участии специалистов компании «Херренкнехт АГ». Кроме того, для обеспечения транспортировки и хранения крупногабаритных и тяжеловесных деталей ТПМК и другой строительной техники на территории площадки стартового котлована выполнили грунтозамещение. Торфяные грунты были замещены песком на глубину 2 м.

В январе 2014 г. губернатор Санкт-Петербурга Г. С. Полтавченко лично дал старт проходу. Надо сказать, что петербургские метростроители впервые на постсоветском пространстве опробовали технологию щитовой проходки двухпутных тоннелей. До этого подобные технологии на строительстве метро не применялись. Для доставки грузов, тубингов и персонала применялись МТС – мульти транспортные средства на пневмоколесном ходу и автомобильный транспорт. Средняя скорость проходки составила семь-восемь колец в сутки. Поскольку проходческий комплекс был с грунтопригрузом, а опыт использования такого оборудования только нарабатывался, первые сотни метров имело место избыточное нагнетание кондиционирующего грунт раствора в забой, в результате чего на малой глубине проходки раствор выходил на поверхность. В процессе проходки систему кондиционирования грунта удалось стабилизировать. Также на начальном этапе проходки тоннеля встречались валунные зоны. Диаметр некоторых валунов достигал полутора метров в диаметре. Во избежание поломки режущего органа ТПМК, не предназначенного для работы со скальными породами, выдача валунов осуществлялась вручную. По мере движения ТПМК делались плановые технические осмотры и ремонт ротора. Работы производились в кессоне.

Тоннель сооружался в полном объеме по всей трассе, включая промежуточную станцию «Дунайская» (в проекте «Дунайский проспект»). Впоследствии для сооружения конструкций станции отделка тоннеля разбиралась. Для демонтажа 11-тонных тубингов была применена демонтажная машина с краном-манипулятором Palfinger. Всего было демонтировано 114 колец. Сама станция запроектирована мелкого заложения с боковыми посадочными платформами, и строилась она инновационным для петербургского метростроения методом top-down. Впоследствии,



Станция «Шушары» соединена с депо Южное

на строительстве станции «Новокрестовская» Невско-Василеостровской линии технологический процесс проходки тоннеля сквозь тело станции был усовершенствован. ТПМК протаскивали по бетонному ложу. Таким образом удалось избежать сложной и трудоемкой работы по демонтажу обделки тоннеля.

Сбойка тоннеля с демонтажной камерой на строительстве Фрунзенского радиуса состоялась 11 июня 2015 г. Чуть менее 4 км двухпутного тоннеля было пройдено за 17 месяцев. После этого ТПМК оперативно демонтировали и выдали по сооруженному тоннелю на поверхность для того, чтобы задействовать проходческое оборудование на проходке тоннеля другой, Невско-Василеостровской линии.

Обделка тоннеля изготавливалась на новой автоматизированной производственной линии «Метрострой» карусельного типа. Производственная мощность составляет 300 колец в месяц. Линия изготовлена и поставлена компанией «Херренкнехт Тоннельсервис» в 2012 г. и по сей день обеспечивает строительство тоннелей Петербургского метрополитена высокоточной железобетонной обделкой.

Отдельно следует отметить станцию пилонного типа «Проспект Славы». Она единственная на пусковом участке имеет глубокое заложение. Для обеспечения большей пропускной способности центральный зал станции имеет увеличенный диаметр. Вместо 8,5 м – 9,8 м. Станция также имеет два наклонных хода и два вестибюля. В процессе реализации проекта поставщик подъемного оборудования (завод ЭЛЭС) прекратил производство своих эскалаторов, что вынудило ОАО «Метрострой» разработать и наладить производство машин тяжелого хода работы на своей базе. Восемь машин изготовлены, смонтированы, получили положительное заключение по промбезопасности и успешно эксплуатируются.

Подводя итоги строительства, важно также упомянуть о том, что реализацию проек-



Тоннель

та сопровождали события, которые привели к затягиванию сроков. Впервые в отечественной практике метростроения, максимальная цена контракта, утвержденная Главгосэкспертизой, была снижена заказчиком при объявлении конкурса на строительство на 30 %. Впоследствии, к самому финалу строительства, цена контракта была приведена в соответствие. За время действия контракта менялся проектировщик, разрабатывающий рабочую документацию, менялся заказчик, изменялось законодательство, значительно вырос курс доллара и евро. В 2015–2017 гг. ОАО «Метрострой» было привлечено к реализации проектов к чемпионату мира по футболу (две станции метро и стадион на Крестовском острове), из-за чего объемы строительства на Фрунзенском радиусе значительно сократились. Все эти негативные факторы привели к тому, что несмотря на изначально высокую готовность и возможность сдачи в декабре 2017 г., стан-

ции «Проспект Славы», «Дунайская» и «Шушары» были введены в строй на девять месяцев позднее контрактного срока.

В данный момент ОАО «Метрострой» продолжает строительство еще двух участков Петербургского метрополитена. Это станции «Горный институт» (в проекте «Большой проспект») и «Театральная» (без вестибюля) на Лахтинско-Правобережной линии, а также станции «Юго-Западная» (в проекте «Казакская») и «Путиловская» на Красносельско-Калининской линии. Кроме того, петербургский ТПМК «Надежда» направлен в Москву для проходки тоннеля БКЛ на участке между ст. «Можайская» и «Аминьевское шоссе». Это станет первым опытом работы петербургских метростроителей на строительстве столичного метрополитена.



*Подготовлено пресс-службой
ОАО «Метрострой»
Е. И. Гигиняк*



5 декабря 2019 года председателю правления Тоннельной ассоциации России, первому заместителю генерального директора инжинирингового холдинга АО «Мосинжпроект», замечательному экономисту, руководителю и инженеру, председателю редакционной коллегии журнала «Метро и тоннели» Константину Николаевичу Матвееву исполняется 60 лет.

Свою трудовую биографию Константин Николаевич начал после окончания Казанского государственного университета на строительстве Татарской атомной станции, где прошел путь от мастера до заместителя начальника управления по промышленному строительству. В последующие годы он работал заместителем генерального директора по промышленности в ОАО УК «Камглавстрой», директором ООО «Нефтегазинжиниринг». Под его непосредственным руководством в Татарстане были реализованы крупнейшие инвестиционные проекты: построен и введен в эксплуатацию Нижнекамский шинный завод с цельнометаллическим кордом и Нижнекамский нефтеперерабатывающий завод.

Начиная с 2011 г. К. Н. Матвеев работает на руководящих должностях в АО «Мосинжпроект», которое является генеральным подрядчиком по выполнению городского заказа на проектирование инженерных сооружений и коммуникаций для организаций инвестиционно-строительного комплекса Москвы. Под его руководством и при его личном участии в организации был создан коллектив, который успешно реализует программу строительства Московского метрополитена, ведет проектирование и строительство самых значимых зданий и сооружений столицы. Трудно переоценить вклад К. Н. Матвеева в модернизацию транспортного каркаса столицы: реконструкцию вылетных и создание хордовых магистралей города.

За годы безупречной работы Константин Николаевич Матвеев снискал доверие и уважение руководителей столицы, сотрудников и партнеров, завоевал репутацию высочайшего профессионала. Его имя и построенные под его руководством здания и сооружения хорошо известны далеко за пределами России.

Уважаемый Константин Николаевич! Правление, Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России и Ваши коллеги сердечно поздравляют Вас с 60-летним юбилеем и искренне желают Вам крепкого здоровья, счастья, удачи и новых успехов в Вашей многогранной деятельности!

***Правление и Исполнительная дирекция
Тоннельной ассоциации России***

ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА – ВОЗМОЖНОСТЬ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Плотность застройки в крупных мегаполисах заставляет градостроителей все больше внимания уделять аспектам освоения подземного пространства. Этот тренд характерен и для российских городов, не только для Москвы. О состоянии отрасли подземного строительства и ее перспективах рассказал председатель правления Тоннельной ассоциации России, первый заместитель генерального директора инжинирингового холдинга АО «Мосинжпроект» Константин Николаевич Матвеев.

– Константин Николаевич, каковы задачи Тоннельной ассоциации России?

– В первую очередь это, конечно, популяризация тоннельного строительства, консолидация деятельности членов организации и продвижение их интересов, в том числе, за счет экспертного сопровождения проектов. Мы ведем работу по представлению интересов наших членов и на международном уровне. Кроме того, мы сейчас развиваем образовательную функцию, регулярно информируя наших членов о современных трендах тоннельного строительства. Наконец, мы напрямую работаем с нормативно-технической базой, предлагаем законодательно ввести положения, определяющие обязательную организацию научно-технического сопровождения строительства объектов метро- и тоннелестроения.

– Как Вы оцениваете перспективы развития подземной транспортной инфраструктуры в крупных российских городах?

– Сегодня в отечественной практике наблюдается тренд на строительство инженерных сооружений над уровнем земли – эстакад, путепроводов и мостов, даже в городах с плотной городской застройкой. И, тем не менее, тоннельное строительство имеет конкурентные преимущества, такие как возможность точно определить срок выполнения и стоимость работ, минимальные отклонения от первоначального проекта. Но самое главное преимущество – низкая экологическая нагрузка, что сейчас очень востребовано обществом. Развитие подземного пространства – это, однозначно, международный тренд. Задача Тоннельной ассоциации – обеспечить его грамотной экспертной и юридической поддержкой в России.

– Существует ли между странами, где активно ведется подземное строительство, какой-то взаимобмен информацией и полезными наработками?

– Безусловно. В частности, Тоннельная ассоциация России входит в состав Международной ассоциации тоннелестроения и освоения подземного пространства (ITA) и, более того, является ее активным участником. Наши специалисты работают в ряде комитетов Международной ассоциации, где участвуют в разработке нормативно-технической документации, которая позднее внедряется в тоннель-

ное строительство по всему миру. Кроме того, эксперты ТАР постоянно выступают с докладами на конференциях, проводимых Международной ассоциацией, иностранные специалисты очень внимательны к нашему опыту.

– А в каком состоянии находится тоннельная отрасль? Каковы на сегодняшний день позиции России в области тоннель- и метростроительства?

– Если говорить глобально, то по объему строительства тоннелей на первом месте сейчас, конечно же, Китай: гигантская программа развития метрополитена, которая сегодня одновременно развернута в 16 мегаполисах Поднебесной, становится локомотивом, движущим всё тоннельное строительство в азиатском регионе. Тем не менее, хочу отметить, что в России также есть отдельные знаковые проекты.

Прежде всего, выделю программу строительства метрополитена в Москве, реализацией которой занят инжиниринговый холдинг «Мосинжпроект». Масштаб и темпы программы, принятой правительством столицы до 2023 г., превосходят только китайцы. Например, одна только Большая кольцевая линия Московского метро – а это 70 км подземки – станет самой длинной кольцевой веткой в мире.

Кроме того, свои программы развития метрополитена приняты и в Санкт-Петербурге, и в Казани. Пусть их объем несопоставим с московским, тем не менее, это тоже существенный вклад в развитие подземного пространства.

– Программа развития Московского метро – самая масштабная в России, в ней участвуют компании со всей страны, созданы совместные предприятия со странами СНГ...

– И даже с китайской компанией. Действительно, когда московские власти выбрали Мосинжпроект единым оператором программы развития столичной подземки, мы внимательно изучили состояние отрасли в СНГ, так как масштаб требовал консолидации всех возможных ресурсов. Тогда мы пригласили к участию в строительстве метро компании из Азербайджана и Белоруссии, которые сохранили советский опыт и производственную базу.

На определенном этапе программе развития Московского метро потребовался опыт иностранных экспертов. Еще на старте Мосинжпроект привлек к проектированию инженеров испанской Bustren, которые помогли нам с применением так называемой мадридской технологии. Сейчас мы тесно работаем с китайской CRCC: отмечу, что специалисты этой компании имеют колоссальный опыт не только в Поднебесной, организация успешно работает по всему миру и обладает мощной производственной базой. Например, CRCC по лицензии немецкой Herrenknecht собирает у себя тоннелепроходческие комплексы, пять ТПМК они привезли с собой в Москву. В скором времени в Москву прибудет 10-метровый щит, который будет строить тоннели на Большой кольцевой линии.

– Московские власти периодически поднимают вопрос нехватки специалистов для реализации её масштабных градостроительных программ. Что предпринимает ТАР, чтобы удовлетворить «кадровый голод»?

– Конечно, Тоннельная ассоциация, объединяя все крупнейшие компании страны, значительные свои ресурсы направляет на подготовку специалистов. Но я могу сказать, что острой ситуация является только в Москве: на строительстве подземки заняты порядка 60 тыс. человек, в одном Мосинжпроекте сейчас работают более 11 тыс. специалистов. В целом же по стране катастрофического кадрового дефицита не наблюдается, т. к. в регионах не было такого взрывного роста государственного заказа.

Вообще, тоннельная отрасль очень специфическая и требует особой подготовки специалистов. Сейчас в стране около десяти вузов готовят профильных специалистов: в среднем они выпускают порядка 150 человек в год.

Сегодня совместно с членами ассоциации мы пытаемся оценить перспективы занятости и организовать на базе ТАР прямое эффективное взаимодействие между студентами и потенциальными работодателями. Это позволит студентам не только пройти качественную практику в реальных условиях, но и сформировать понимание работы в тоннельном строительстве.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ «ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА»

А. Б. Лебедев, Тоннельная ассоциация России
С. В. Мазеин, д. т. н., Тоннельная ассоциация России

С 3 по 5 октября 2019 г. в Москве состоялся научно-технический форум «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства». Организаторами мероприятия выступили Тоннельная ассоциация России и АО «Мосметрострой» при поддержке ООО «ИБТ». Участие приняли ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», ОАО «Мосинжпроект», ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», АО «Мосметрострой», ООО «ИБТ», АО «Моспромпроект», ООО «Херренкнехт Тоннельсервис», УП «Минскметрострой», ОАО «Минскметропроект», ООО «Синерго», МКП «УСКМ» и др.

В первый день работы форума участники побывали на трех строящихся станциях северо-восточного участка Большой кольцевой линии (БКЛ): «Стромынка», «Ржевской» и «Шереметьевской». Техническую экскурсию по объектам провел руководитель контракта АО «Мосметрострой» А. Н. Вялых. Он не только показал особенности будущих станций на чертежах, но и разрешил гостям лично убедиться в сложности сооружений, спустившись под землю.

«Стромынка» названа в честь улицы на северо-востоке Москвы, связывающей Сокольническую площадь с Русаковской набережной. В XIV в. по этой дороге проезжали до подмосковного села Стромынь. Станция мелкого заложения, колонная, трёхпролетная, пересадочная со станцией «Сокольники» Сокольнической линии. Пассажиропоток – 313 тыс. человек в сутки, в утренние часы пик – более 31 тыс. человек в час.

«Ржевская» будет одноименной с рядом расположенной платформой Московской железной дороги, которая, в свою очередь, носит имя города воинской славы России – Ржева. Станция глубокого заложения (62 м), пилонная, трехсводчатая. Считается одной из самых сложных на БКЛ. Перед началом основных работ на станции потребовалось соорудить шахту диаметром 30 м и глубиной около 50 м. Сейчас эта площадка используется для монтажа и демонтажа ТПМК. Потом в этой камере смонтируют тяговую подстанцию, которая займет восемь этажей. «Ржевская» станет пересадочной со станцией «Рижская» Калужско-Рижской линии метро и железнодорожными платформами Октябрьской железной дороги, Курско-Рижского и Курско-Смоленского диаметров Московской железной дороги. Пассажиропоток – 280 тыс. человек в сутки, в утренние часы пик – 28 тыс. человек в час.

Название «Шереметьевская» идентично центральной улице района Марьино. В XIX в. по Шереметьевской дороге проходили важные торговые пути на север Москвы.

Станция также глубокого заложения, пилонная, трехсводчатая, пересадочная со



станцией «Марьино Роша» Люблинско-Дмитровской линии метро. Пассажиропоток – 272 тыс. человек в сутки, в утренние часы пик – более 27 тыс. человек в час.

Второй день работы форума «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства» был посвящен конференции. Она прошла 4 октября в Московской области на территории дома отдыха «Покровское».

Ведущие конференции: В. Е. Меркин, д. т. н., генеральный директор «НИЦ ТА» и М. Ю. Беленький, заместитель генерального директора АО «Мосметрострой» по маркетингу и внешнеэкономической деятельности.

В ходе конференции вниманию ее участников представили доклады российских и зарубежных специалистов по следующим вопросам.

• **Основные принципы комплексного освоения подземного пространства Москвы** (докладчик к. т. н. Д. С. Конохов, начальник отдела научно-технического сопровождения строительства, АО «Мосинжпроект»). Предложены подходы к освоению подземного пространства территории массовой жилой застройки, районов реновации, сопутствующего использования подземного пространства при строительстве объектов метрополитена с учётом мероприятий по привлечению инвесторов. Использование

опыта, накопленного строителями и проектировщиками Москвы, инновационных решений по ресурсосбережению, зонированию территории, организации транспортной доступности с преобладанием скоростной массовой перевозки пассажиров, введение в состав жилых микрорайонов объектов социальной инфраструктуры позволит не просто вести интенсивное строительство и получить новые спальные районы Москвы с проложенными к ним линиями метро, а создать город, удобный для жизни, и, в конечном итоге, повысить инвестиционную привлекательность городского строительства.

• **Повышение конструктивной надежности подземных сооружений в условиях развития опасных инженерно-геологических процессов и техногенных воздействий** (докладчик к. т. н. И. Н. Хохлов, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»). Доклад посвящен повышению конструктивной надежности тоннельных сооружений в районах развития опасных инженерно-геологических процессов, предложены разработки единого подхода и общей методики оценки рисков и мероприятия по минимизации негативного воздействия на подземные сооружения опасных инженерно-геологических процессов и явлений, особенно карстово-суффозионных и оползневых. Отмечено, что в существующей нормативной



базе по защите сооружений от опасных геологических процессов отсутствуют четкие указания о необходимости всестороннего учета влияния негативных факторов при строительстве подземных сооружений транспортного назначения с учетом специфики строительства в крупных городах в зонах возможного развития неблагоприятных геологических процессов.

• **Эффективность защитных мероприятий при строительстве метрополитена вблизи эксплуатируемых объектов** (докладчик К. Е. Минин, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»). В качестве основных мероприятий было рассмотрено искусственное укрепление грунтов в основании сооружений, а также управляемое компенсационное нагнетание. На основе исследований, проведенных с помощью численного моделирования, были предложены способы безосадной проходки и комплекс мероприятий по минимизации негативного воздействия на окружающий грунтовый массив и основания существующих зданий и сооружений. Показано влияние глубины заложения на стоимость и уровень строительных рисков при сооружении объектов метрополитена. Перечислены преимущества автоматизированного гидростатического нивелирования при мониторинге высотного положения зданий и сооружений при выполнении тоннелепроходческих работ.

• **Основные технологические решения при выводе ТПМК с трассы тоннеля в деформационный котлован** (докладчик к. т. н. А. А. Долев, АО «Мосинжпроект»). Освещено, как решаются технологические задачи при выводе ТПМК с трассы в котлован: защита котлована от поступления воды и водогрунтовой смеси; позиционирование ТПМК в зоне перед ограждающей конструкцией котлована; обеспечение прочности ограждения котлована; снижение временных затрат и материалоемкости.

• **Расчет давления активного пригруза за счет ТПМК в условиях плотной городской застройки** (докладчик О. С. Федянин, АО «Мосинжпроект»). Проведено



сравнение реальных давлений пригруза в призабойной камере щита с результатами проверочных расчетов по методике СП 120.13330.2012 и с расчетными проектными значениями по методике СТО НОСТРОЙ. На конкретном примере отмечено, что проектное давление в призабойной камере щита не набирает достаточной величины для компенсации давления от толщи грунта.

• **Международный опыт использования современных информационных технологий в подземном строительстве** (докладчик к. т. н. А. Г. Полянкин, АО «Мосинжпроект»). Доклад посвящен анализу международного опыта использования современных информационных технологий в подземном строительстве, направленных на следующее:

- уточнение грунтовых условий между скважинами инженерно-геологических изысканий;
- прогнозирование осадок окружающей застройки на основании данных мониторинга, без использования метода конечных элементов;
- автоматизированное определение эффектов при проведении обследований;

• переход к трехмерному градостроительному планированию;

• улучшение доступа к архивной информации за счет создания цифровых двойников построенных объектов;

• роботизация строительного контроля и контроля графиков строительства.

• **Применение набрызг-бетонной крепи на строящихся объектах Большой кольцевой линии Московского метрополитена**, (докладчик Д. С. Петунина, АО «Мосинжпроект»). В результате реализации мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства и контролю параметров проходки перегонных тоннелей:

• максимальные стабилизированные осадки ст. «Сокольники» составили 3,6 мм;

• была обеспечена безопасная, практически безосадочная проходка тоннелей Большой кольцевой линии под действующей станцией, объектом культурного наследия «Сокольники» Сокольнической линии Московского метрополитена;

• не потребовались работы по установке страховочных пакетов и их последующему демонтажу, гидроизоляции деформационно-



го шва, повлекшие за собой изменения облика памятника.

• **Устройство МЩК без распорного крепления в круглом котловане** (С. Е. Ермолаев, АО «Метрогипротранс»). Представленный тип конструкции монтажно-щитовой камеры имеет существенные преимущества по сравнению с традиционной. Использование в дальнейшем камеры для сооружения постоянных конструкций ТПП с занятием её полного объема обосновывает экономическую сторону решения.

• **Оценка сплошности ограждающей конструкции из буросекущихся свай (БСС)** (М. П. Федорова, АО «Метрогипротранс»). При проектировании глубоких котлованов в условиях плотной городской застройки, в сложных геолого-гидрологических условиях для строительства ограждающих конструкций необходимо предусматривать возможность контроля качества строительных работ различными методами (в том числе геофизическими исследованиями). Результаты исследований позволяют, при необходимости, сформулировать рекомендации по назначению дополнительных мероприятий, обеспечивающих безопасность разработки.

• **Строительство вертикальных стволов при помощи стволотроходческих котлетков SBR** (В. Брылев, ООО «Херенкнехт Тоннельсервис»). Представлены технические характеристики и устройство комплекса SBR MI-29/30. Показана недельная сводка по проходке и основные технологические операции.

• **Инновационный метрополитен г. Красноярск** (И. С. Иванов, «Управление по строительству Красноярского метрополитена» (МКП «УСКМ»)). В последние 10–15 лет в мире активно развивается скоростной легкорельсовый транспорт. Внедрение в

Красноярске такого инновационного метрополитена требует изменения текущего проекта и разработки специальных норм в рамках существующих процедур. Корректировка проекта и выполнение СМР могут быть выполнены в течение 2019–2024 гг.

• **Риск-ориентированный подход при проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей** (докладчик к. т. н. К. В. Романевич, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»). Эксплуатация транспортных тоннелей должна осуществляться в условиях минимальных рисков нарушения требований по надежности и безопасности, а также в условиях высокой экономической эффективности профилактического оздоровления дорог и сооружений и восстановления в случае их отказов. Для выполнения этих требований действующая система управления эксплуатацией искусственных сооружений должна иметь информационно-организованную службу, владеющую знаниями о техническом состоянии объектов, о прогнозировании их работы в случае различных комбинаций функциональных нагрузок и внешних природных условий, а также механизм управления с помощью технических решений, технологических и организационных мероприятий. Система комплексного горно-экологического (геотехнического) мониторинга, создаваемая на принципах риск-ориентированного подхода, является комплексным решением минимизации рисков нарушения требований по надежности и безопасности транспортных тоннелей и включает в себя как источник актуальной информации о техническом состоянии конструкций с краткосрочным и среднесрочным прогнозом их работы, так и информационно-организованную диспетчерскую службу с регламентом реагирования.

• **Проблемы в сметном нормировании и ценообразовании. Грунт** (докладчик А. Н. Ревва, ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург). Сообщение о проблемах подрядных организаций, возникающих при применении коэффициента разрыхления грунта, который заложен в действующих нормативах. Необходимо актуализировать сборник сметных нормативов ГЭСН-29 для возможности реализации во всех регионах страны объектов тоннелестроения без нанесения материального ущерба строительным организациям. Необходимо приведение проектно-сметной документации в соответствие со спецификой работ и геологическими особенностями регионов.

• **Проведение геотехнического мониторинга при компенсационных работах для зданий, являющихся памятниками архитектуры** (докладчик к. т. н. Р. И. Ларионов, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»). Приведены результаты геотехнического мониторинга компенсационных работ для зданий, являющихся памятниками архитектуры. Реализованная технология минимизации деформаций фундаментов зданий и исключения их неравномерной осадки, расположенных на подрабатываемых территориях, предполагает комплексный подход с усилением фундаментов, компенсационными мероприятиями и обязательным ведением геотехнического мониторинга для контроля смещений, возникающих как от строительства станционных комплексов, так и от мероприятий, направленных на уменьшение смещений дневной поверхности.

Комплекс геофизических работ в составе геотехнического мониторинга позволяет не только оценить качество выполняемых компенсационных работ, но и показать места разуплотнений, образуемых в массиве в процессе производства работ.

Разработанная и внедренная последовательность компенсационных мероприятий позволяет своевременно выполнять инъекционные работы в моменты развития деформационных процессов в грунтах оснований, не дожидаясь, пока они приведут к деформациям зданий. Многократное использование скважин с обязательной их промывкой после каждого этапа компенсационных работ позволяет управлять осадкой зданий в течение всего срока строительства станционного комплекса глубокого заложения.

• **Основные качественные показатели инъекционных вяжущих** (докладчик А. П. Нефедьев, ООО «Синерго»). Сообщение об основных качественных показателях минеральных инъекционных вяжущих (микроцементов), используемых для закрепления грунтов инъекцией. Из-за большого числа представленных на рынке РФ инъекционных вяжущих зачастую затруднительно определить их применимость для решения конкретной проектной задачи. Для объективной и оперативной оценки пригодности и качества микроцементов предлагается использовать критерий пригодности, а также показатель седиментационной устойчивости при высоких В/Ц. Высоким технологическим требованиям к микроцементам для закрепления грунтов отвечают вяжущие, изготовленные путем тонкого помола с последующей сепарацией, с нормированным зерновым составом. Применение таких микроцементов обеспечивает достижение сплошности грунтового массива с заданными физико-техническими характеристиками. Наибольшей стабильностью свойств и пригодностью обладают микроцементы МС-3 и МС-505, которые могут служить альтернативой ОТДВ «Микродур R-X».

• **Гидроизоляционная система с адгезией к свежееотформованным бетонным конструкциям подземных сооружений транспортного назначения открытого и полузакрытого способа работ** (докладчик к. т. н. Т. Е. Кобидзе, АО «Мосинжпроект»). Представлена инновационная технология применения гидроизоляционных материалов последнего поколения, которые в виде предварительно устроенных гидроизоляционных покрытий проявляют способность к адгезионному сцеплению к свежееуложенному бетону. В разработанной системе в качестве гидроизоляционных материалов применяются:

• гидроизоляционные напыляемые полимерные составы с «двухсторонней» адгезией, способные проявлять требуемое адгезионное сцепление (не менее 0,5 МПа) не только к поверхности ранее уложенного «старого» бетона, но и, в отличие от традиционных материалов (битумно-полимерные наплавленные рулонные материалы, полимерные напыляемые составы и др.), к поверхности свежеприготовленной бетонной смеси, уложенной на отвержденное гидроизоляционное покрытие. К составам этой группы относятся напыляемые материалы на основе этилен-

винилацетата (Masterseal 345 компании BASF, Tamseal 800 компании Normet и др.);

• листовые трехслойные гидроизоляционные материалы заводского изготовления, состоящие из прочной и гибкой подложки, клеящего (адгезионного) слоя и защитного покрытия, обеспечивающие требуемое адгезионное сцепление (не менее 0,5 МПа) к поверхности свежеприготовленной бетонной смеси, уложенной на гидроизоляционное листовое покрытие. Эта группа рулонных материалов представлена продукцией компаний NORMET, GRACE и SOPREMA под маркой TamSeal 2000, Preprufe-plus и COLPHENE BSW, соответственно.

• **Применение методов научно-технического сопровождения строительства при проходке перезонных тоннелей метрополитена под зданиями и сооружениями** (докладчик М. Ю. Мажирин, АО «Мосинжпроект»). Сообщение о практической реализации мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства во время проходки этапа 11.4 Кожуховской линии метрополитена. В частности, до начала, в процессе и по завершению проходки были проведены геофизические исследования грунтового массива. Геофизические работы были выполнены методом сейсморазведки в модификации МОВ ОГТ и георадиолокационным зондированием. Эти результаты были использованы в процессе проходки для корректировки диаграммы пригрузки забоя, что позволило пройти опасные участки, снизив до минимума осадки зданий и сооружений.

В процессе научно-технического сопровождения строительства постоянно контролировались основные технологические параметры работы ТПМК, влияющие на осадку земной поверхности и зданий, расположенных над строящимся тоннелем:

- объем выбираемого при проходке грунта;
- объем бентонитового раствора, нагнетаемого за обделку щита;
- объем тампонажного раствора;
- давление пригрузки забоя в своде и лотке.

В процессе строительства был организован постоянный геотехнический мониторинг зданий и сооружений по трассе тоннеля.

• **Опыт применения сейсмоакустических методов для контроля качества и эффективности инъекционных мероприятий** (докладчик А. М. Сухарев, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»). Обобщен опыт применения сейсмоакустических методов для контроля качества и оценки эффективности мероприятий по укреплению грунтового массива. С помощью метода сейсмической томографии оценивается эффективность инъекционных работ, выделяются участки, в которых укреплению грунтов оказалось недостаточным, и в которых необходимо дополнительное закрепление.

Параметры, полученные сейсмоакустическими методами, необходимы для уточнения

технологических параметров инъекционных нагнетаний, в том числе: объемы инъекционного раствора; состав раствора; необходимости превентивного гидрологического экранирования и т. д.

Применение геофизического контроля (в виде сейсмоакустических наблюдений) позволяет увеличить оперативность геотехнического мониторинга при строительстве подземных сооружений, в том числе при контроле инъекционных мероприятий для сохранения зданий, находящихся в области влияния строительных работ.

• **Российское противопожарное законодательство об огнестойкости тоннельных конструкций** (докладчик С. П. Антонов, ООО «ПРОЗАСК»).

Приведены примеры пожаров на тоннельных конструкциях, требования технологических регламентов к пожарной безопасности, содержание ГОСТов в части испытаний на огнестойкость. Пределы огнестойкости и классы пожарной опасности строительных конструкций должны определяться в условиях стандартных испытаний по методикам, установленным нормативными документами по пожарной безопасности (123-ФЗ). Даны примеры физико-механических и огневых испытаний железобетонных конструкций с фиброй.

• **Презентация компании «Голдай Каучук» (Турция)** (докладчик А. Ф. Арибурну). Показано участие фирмы в строительстве трех веток метро в Стамбуле.

• **Спецметоды в строительстве Московского метро** (С. С. Зуев, ОАО «Нью Граунд»). Приведен пример защитных мероприятий по укреплению грунтов, проведенных с участием организации на железнодорожном путепроводе на ул. Минская. Проведенные защитные мероприятия по усилению фундаментов существующего путепровода с применением технологии струйной цементации грунта позволили выполнить безаварийную шитовую проходку тоннеля под путепроводом, что подтвердило правильность принятых проектных решений.

Конференция вызвала оживленные дебаты среди специалистов. В ней приняли участие больше 60 человек из 24 организаций.

По окончании форума состоялось торжественное награждение участников конкурса «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений». Заслуженную награду получили семь организаций.

УП «Минскметрострой» стало победителем сразу в трех номинациях: «Материалы и конструкции для тоннелей и подземных сооружений», «Гидроизоляционные материалы и устройство для отвода воды», «Работы по стабилизации неустойчивых грунтов, устройству оснований и укреплению фундаментов». Лидерство в третьей номинации минчане разделили с АО «Ньюграунд».



В номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений» отличилось АО «Мосинжпроект». А коллеги из ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» забрали главный приз с технологией при проходке тоннелей и строительством подземных сооружений закрытым и открытым способом. Первое место в финальной номинации «За технологию при проходке тоннелей и строительстве подземных сооружений закрытым способом» заняли АО «Мосметрострой» и ОАО «Метрострой».

Согласно положению «О конкурсе дипломных работ среди студентов по проблематике освоения подземного пространства»

Тоннельной ассоциации России оглашены итоги конкурса 2019 г.

По результатам голосования за 17 участников конкурса из 8 вузов (МИСиС, РУТ МИИТ, МАДИ, ТулГУ, УГТУ, СГУПС, ПГУПС, СПГУ) жюри определило следующих победителей.

В номинации «Освоение подземного пространства горючих»:

- В. С. Галицкая (СГУПС, руководитель к. т. н. Г. Н. Полянкин) «Станция метрополитена на линии мелкого заложения»;

- Е. С. Иванов (ПГУПС, руководитель д. т. н. Ю. С. Фролов) «Станция метрополитена, сооружаемая методом NATM в городе Челябинске».

В номинации «Транспортные тоннели»:

- М. В. Шохирев (СГУПС, руководитель к. т. н. Г. Н. Полянкин) «Комплекс сооружений подводного тоннеля в криолитозоне»;

- А. Б. Никонов (МАДИ, консультант к. т. н. В. В. Кравченко) «Исследование конструкций подводных тоннелей из опускных секций»;

- А. М. Катеров (СПГУ, руководитель д. т. н. М. А. Карасев) «Проект строительства транспортного тоннеля в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга».

В номинации «Шахтное строительство»:

- К. С. Хорошилов (МИСиС, руководитель д. т. н. М. С. Плешко) «Строительство капитальных выработок шахты им. С. М. Кирова в г. Ленинск-Кузнецкий Кемеровской области».

При оценке работ учитывались научная новизна, практическая ценность, глубина теоретической и (или) экспериментальной проработки, логическая завершенность (целостность) работы, стиль изложения и качество оформления.

Жюри конкурса рекомендовало передать Дипломы победителей (со значком ТАР) и Свидетельства участников представителям вузов для того, чтобы эти награды были вручены победителям конкурса на заседаниях Ученых советов вузов.

Хочется поблагодарить всех участников конкурса вузов за активное участие в деле подготовки молодых тоннелестроителей и пожелать им дальнейших творческих успехов.

Подводя итоги прошедшего форума, Тоннельная ассоциация России отмечает большую проделанную работу всех его участников и благодарит их за вклад в развитие тоннельного строительства.

МЫ СТРОИМ МЕТРО



О НОРМАТИВАХ НА СМЕЩЕНИЕ РЕЛЬСОВЫХ НИТЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. А. Гарбер, д. т. н., НИЦ «Тоннели и метрополитены», АО ЦНИИС

В статье констатировано наличие пробела в существующих нормативных документах по вопросу допусков на перемещения рельсовых путей действующих объектов метрополитена, находящихся в зоне влияния строительства новых объектов городской инфраструктуры. При прохождении экспертизы проектов нового инфраструктурного строительства в зоне действующего метрополитена необходимо осуществлять геотехнические расчеты по влиянию этого нового строительства на эксплуатируемые объекты метрополитена до утверждения разрабатываемого в настоящее время свода Правил «Метрополитены. Правила эксплуатации».

В настоящее время в Москве развернулось интенсивное строительство новых объектов городской инфраструктуры в технических и охранных зонах метрополитена.

Это строительство ведется в соответствии со следующими документами:

- СП 120.13330.2012 «Метрополитены»;
- Правила использования территорий технических и охранных зон метрополитена в городе Москве (утверждены Москомархитектурой правительства Москвы, 2006г.);
- Методика комплексного обследования состояния строительных конструкций сооружений метрополитена, попадающих в зону влияния строительства городских объектов (согласована ГУП Московский метрополитен», 2006 г.).

В указанных документах конкретизированы правила строительства городских объектов, при соблюдении которых обеспечивается эксплуатационная безопасность сооружений метрополитенов.

В результате соблюдения этих правил и указанных в них защитных мероприятий конструкции сооружений метрополитена сохраняют достаточные запасы прочности и имеют допустимые смещения, не влияющие на безопасность движения метропоездов.

Однако в последнее время при проектировании некоторых масштабных городских объектов у специалистов Мосгосэкспертизы возникли опасения в том, что при обеспечении прочности и жесткости конструкций метрополитена (станции и перегонные тоннели) остаются сомнения в безопасности движения метропоездов при возможных под влиянием строительства городского объекта смещениях конструкций станций и перегонных тоннелей.

Эти сомнения могут иметь место в связи с отсутствием конкретных нормативов на допустимые смещения рельсовых путей метрополитена под влиянием строительства городских объектов в технических и охранных зонах метрополитена.

Рассмотрим некоторые положения нормативных и инструктивных документов, которые в настоящее время регламентируют контроль положения рельсовых нитей в сооружениях метрополитена.

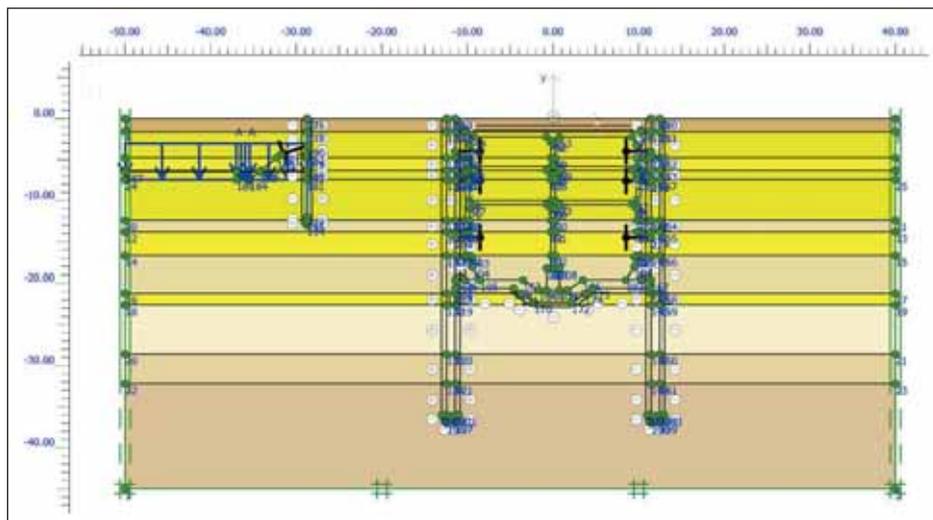


Рис. 1. Геометрическая схема расчетной модели, соответствующая сечению 1-1

Инструкция по текущему содержанию пути и контактного рельса метрополитена (2019 г.)

п. 2.1.4 «Разрешается на прямых участках пути на всем протяжении каждого из них содержание одной рельсовой нити на 6 мм выше другой».

п. 2.1.6 «Отклонение в уровне расположения рельсовых нитей от установленных норм на кривых участках пути допускается не более 4 мм».

Отводы отклонений по уровню должны быть плавными и не превышать для главных путей 1 мм/1м пути.

п. 2.1.4 «Смежные элементы продольного профиля, алгебраическая разность уклонов которых равны или превышает 0,002, должны сопрягаться в вертикальной плоскости кривыми следующих радиусов:

- 5000 м – на главных путях перегонов;
- 3000 м – на главных путях станций.

Свод Правил «Метрополитены» СП 120.13330.2012г. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003»

Приложение Ж (обязательное) «Допустимые отклонения фактических размеров сборных обделок от проектного положения»

п. 8 Путь в тоннеле

- отклонение в плане и профиле ± 3 мм;

- уширение колеи ± 4 мм;
- сужение колеи – 2 мм.

Других регламентирующих документов, устанавливающих допустимые отклонения рельсовых нитей от проектного положения, в настоящее время нет.

Как видно, требования к рельсовым нитям метрополитена достаточно жесткие.

Указанные выше сомнения специалистов Мосгосэкспертизы об отсутствии конкретных нормативов на допустимые смещения рельсовых нитей метрополитена под влиянием строительства новых городских объектов подтверждаются тем, что в приведенных выше Инструкции и СП 120 не установлены допуски на смещения рельсовых нитей при строительстве в охранных и технических зонах метрополитена новых объектов.

В настоящее время Минстрой России разрабатывает **Свод Правил «Метрополитены. Правила эксплуатации»**. В этом СП предусмотрено **«Приложение А «Предельно допустимые деформации сооружений метрополитена при их реконструкции и при расположении действующих объектов метрополитена в зоне влияния нового строительства»**.

В этом Приложении устанавливается **допуск на отклонение в уровне расположения рельсовых нитей, равный 6 мм**.

Поскольку это СП еще не утверждено, а упомянутые выше масштабные городские объекты в технических зонах метрополитена уже проектируются, необходимо найти какое-то решение, которое позволит и строить объект, и в то же время не нарушит эксплуатационную безопасность сооружений метрополитена (в части безопасности движения метropоездов по рельсовым нитям).

Одно из возможных решений состоит в проведении геотехнических расчетов по оценке влияния нового строительства на объекты метрополитена.

Рассмотрим такое решение на примере строительства нового крупного объекта в зоне влияния участка (станция и перегон) одной из новых Московских линий.

Длина платформенного участка рассматриваемой новой станции метрополитена 160 п. м. 8-вагонный метropоезд полностью располагается на платформенном участке.

На рис. 1 приведена расчетная модель геотехнического расчета влияния строящегося объекта на станцию метрополитена.

На рисунке слева показан «нулевой» цикл объекта, а в центре – поперечное сечение станции «малого» заложения.

Геотехнический расчёт показал, что в результате строительства объекта конструкция станции метрополитена может опуститься (просесть) максимально на 9,7 мм (рис. 2).

Рельсовые нити на станции жёстко скреплены с путевым бетоном и могут опускаться (проседать) вместе со всей станционной конструкцией на те же 9,7 мм.

Таким образом, воздействие от строительства объекта на метropоезд, стоящий на рельсовых нитях станционного пути, отсутствует.

На рис. 3 и 4 приведены, соответственно, расчётная модель геотехнического расчёта влияния того же строящегося объекта на соседний со станцией перегонный тоннель, а также результаты геотехнического расчёта.

В результате этого расчёта получено, что вертикальные смещения конструкции перегонного тоннеля под влиянием строительства того же объекта составят максимально 8,7 мм.

Таким образом, разница в осадках (проседании) рельсовых нитей на станции и в перегонном тоннеле под влиянием строительства объекта составит максимум 1 мм.

Как указано выше, в соответствии с Инструкцией по текущему содержанию пути и контактного рельса метрополитена (п. 2.1.6) – «Отводы отклонений по уровню рельсов должны быть плавными и не превышать для главных путей 1 мм/1м пути».

Таким образом, перепад в осадках рельсовых нитей на станции и соседнего перегонного тоннеля, равный 1 мм, находится в пределах допуска (в соответствии с Инструкцией Московского метрополитена).

В итоге, эксплуатационная безопасность движения метropоездов, находящихся в зоне влияния строительства объекта, по станции и перегонному тоннелю – обеспечена.

Описанная методика может служить обоснованием для принятия Мосгосэкспертизой поло-

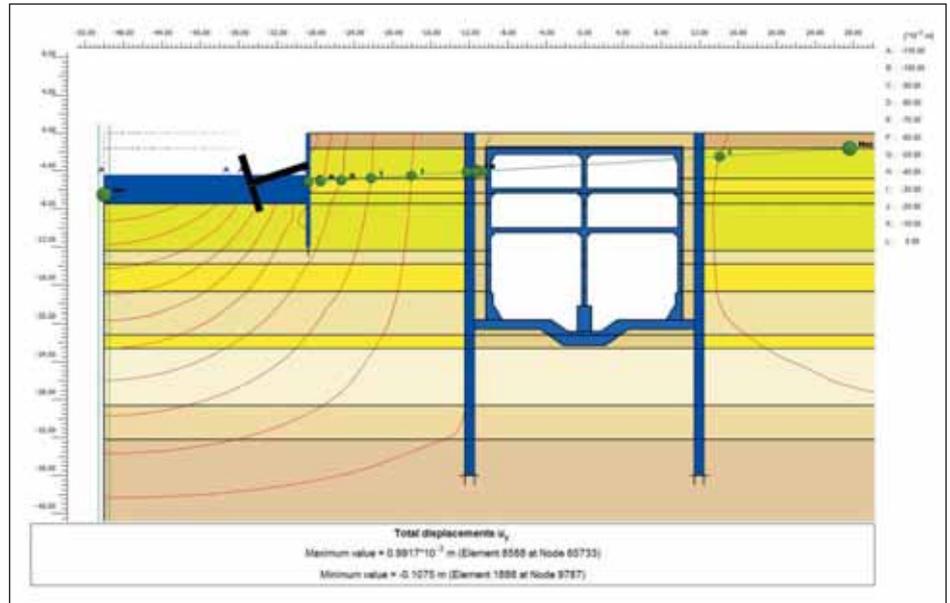


Рис. 2. Вертикальные смещения, возникающие в грунтовом массиве по окончании строительства многофункционального комплекса. Расчет 3, тип ограждения – шпунт

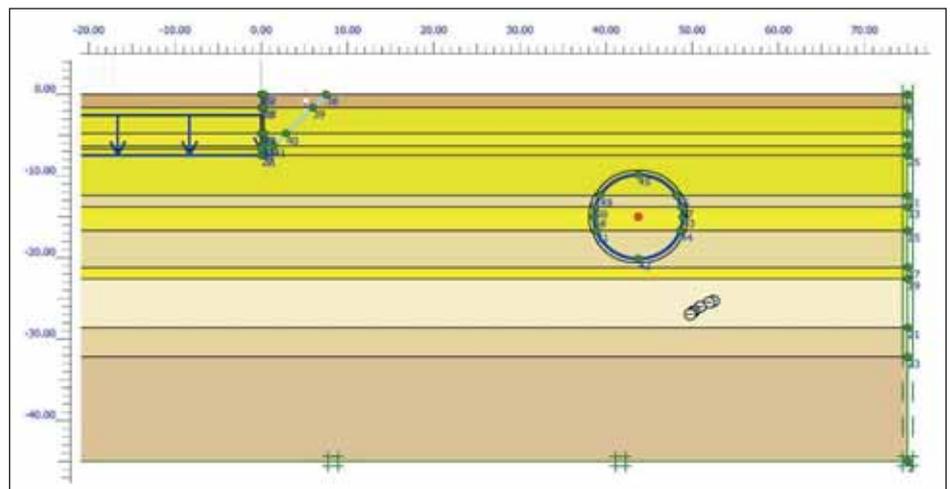


Рис. 3. Геометрическая схема расчетной модели, соответствующая сечению 1-1

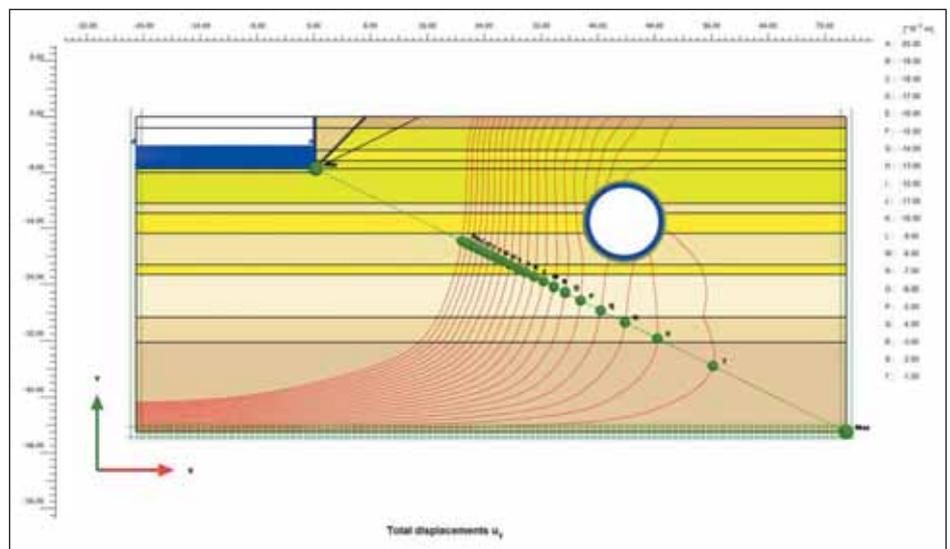


Рис. 4. Вертикальные смещения, возникающие в грунтовом массиве по окончании строительства многофункционального комплекса. Расчет 3

жительного решения при рассмотрении проектов инфраструктурного строительства в технических и охранных зонах метрополитена.

Для связи с автором

Гарбер Владимир Александрович
garber@umail.ru



ПРИМЕНЕНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

APPLYING A RISK-BASED APPROACH DURING THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF TRANSPORT TUNNELS

М. О. Лебедев, К. В. Романевич, ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс»

M. O. Lebedev, K. V. Romanevich, OS Lenmetrogioprotrans

Сложные сочетания и изменяющиеся показатели опасных природных и техногенных процессов и явлений во вмещающих грунтовых массивах требуют динамического подхода к оценке, прогнозированию и снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. Учет влияния негативных природных и техногенных факторов на подземные сооружения целесообразно выполнять с позиций теории управления рисками и используя риск-ориентированный подход. В статье рассматриваются способы качественной и количественной оценки геотехнических рисков, а также пути актуализации и детализации прогнозов средствами системы комплексного горно-экологического (геотехнического) мониторинга.

Complex combinations and changing indicators of hazardous natural and technogenic processes and phenomena in the host soil massifs require a dynamic approach to assessing, forecasting and reducing the likelihood of emergencies during the construction and operation of transport tunnels. It is advisable to take into account the impact of negative natural and technological factors on underground structures from the perspective of risk management theory, and using a risk-based approach. The article discusses methods for the qualitative and quantitative assessment of geotechnical risks, as well as ways to update and refine forecasts using the system of integrated mining and environmental (geotechnical) monitoring.

На всех этапах существования системы «подземное сооружение – вмещающая среда» в ней фиксируются природные и техногенные воздействия со сложной структурой их взаимовлияний. Сочетания и показатели опасных процессов и явлений могут значительно отличаться на разных интервалах протяженного подземного сооружения и в разное время. Это требует динамического подхода к оценке, прогнозированию и снижению вероятности возникновения аварийных ситуаций, а также минимизации отказов и потерь на разных участках одного объекта, поэтому учет влияния негативных природных и техногенных факторов на подземные сооружения целесообразно выполнять с позиций теории управления рисками [1–3] и используя риск-ориентированный подход.

Суть риск-ориентированного подхода в любой сфере заключается в снижении рисков путем оптимизации контроля: в зонах высокого уровня риска контроль увеличивают, а в зонах пониженного риска – снижают или исключают вовсе. Это позволяет оптимально использовать трудовые, материальные и финансовые ресурсы, снижать из-

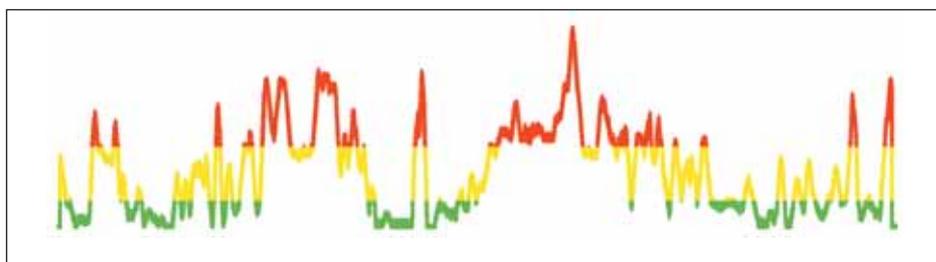


Рис. 1. Прогнозный профиль риска для Второго Северомуйского тоннеля на предпроектном этапе. Цветом обозначены уровни риска по сумме установленных критериев с проекцией на трассу одного из вариантов тоннеля: красный – высокий, желтый – средний, зеленый – низкий уровень риска

держки и повышать результативность контроля. Риск-ориентированный подход при проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей применяется в целях повышения уровня комплексной безопасности, позволяя осуществлять оценку и контроль наиболее опасных природных и техногенных процессов в зонах их проявления, а также прогнозировать их дальнейшее поведение и влияние на подземное сооружение и окружающую среду.

Оценка факторов природно-техногенных рисков и составление прогнозных сценари-

ев критических ситуаций на этапе проектирования позволяет выбирать оптимальный вариант трассы нового тоннеля, определять технологии строительства, выполнять категорирование интервалов сооружения по степеням опасностей и рисков, а также заблаговременно разрабатывать адекватные рискам предупредительные мероприятия [4].

В качестве примера на рис. 1 показан прогнозный профиль риска для Второго Северомуйского тоннеля на предпроектном этапе, выполненный с учетом опыта строительства существующего Северомуйского тонне-

Таблица 1

Ключевые опасности, их подкатегории и соответствующие опасностям риск-рейтинги

Сейсмическая активность	Риск-рейтинг
Сейсмоопасный район ≥ 9 баллов	15
Сейсмичность 7–8 баллов	10
Несейсмический район	5
Геологические опасности	Риск-рейтинг
Большое количество нарушенных зон/разломов	25
Наличие нарушенных зон/разломов	15
Отсутствие нарушенных зон/разломов	5
Размер выработки	Риск-рейтинг
Очень большой $\varnothing > 12$ м	20
Большой $6 \text{ м} < \varnothing < 12$ м	15
Средний $3 \text{ м} < \varnothing < 6$ м	10
Малый $\varnothing < 3$ м	5
Глубина выработки, D	Риск-рейтинг
Глубокое заложение, $D > 50\varnothing$	20
$1,5\varnothing < D < 50\varnothing$	5
Неглубокое заложение, $D < 1,5\varnothing$	10
Деформации в процессе строительства	Риск-рейтинг
Большие деформации	20
Средние деформации	15
Малые деформации	5

ля. Цветом обозначены уровни риска по сумме установленных критериев с проекцией на трассу одного из вариантов тоннеля: красный – высокий, желтый – средний, зеленый – низкий уровень риска.

Целью разработки прогнозного профиля риска для транспортного тоннеля на любом этапе его существования является определение пространственного распределения факторов природных и техногенных рисков по длине сооружения и оценка последствий реализации опасностей различного рода.

По тому же принципу может быть проведена интегральная оценка рисков для сравнения вариантов трасс проектируемого транспортного тоннеля или сравнения нескольких однотипных объектов между собой. Так в [5] предлагается унифицированная упрощенная количественная классификация рисков при строительстве тоннелей, разработанная для предоставления страховым организациям средства для оценки общего технического риска, связанного с любым тоннельным проектом. Классификация основана на следующих пяти ключевых опасностях подземного строительства:

- сейсмичность района строительства;
- геологические и гидрогеологические условия;
- размер и геометрические параметры сооружения;
- глубина заложения сооружения;
- оценка деформаций массива и конструкций крепей в процессе строительства.

Одним из преимуществ данного упрощенного подхода является то, что для выполнения оценки по перечисленным опасностям не требуется детальная информация – достаточно общей информации по району строительства.

В ходе классификации определяется ряд категорий (3–4 категории) для каждой из пяти ключевых опасностей. Числовой взвешенный рейтинг, называемый «риск-рейтинг», представляется для определенной категории каждой из пяти ключевых опасностей на основе различных степеней влияния, которые эти опасности могут оказывать на проект, исходя из исторического опыта подземного строительства. Предложенные ключевые опасности, их подкатегории и соответствующие риск-рейтинги приведены в табл. 1.

Использование данного упрощенного подхода требует выбора соответствующего риск-рейтинга из каждой подкатегории пяти ключевых опасностей для каждого определенного тоннеля. Суммированием риск-рейтингов определяется итоговый риск-рейтинг тоннеля и соответствующий риск-класс тоннеля, который может изменяться в пределах значений от 0 до 100 как показано в табл. 2.

В качестве примера на рис. 2 в виде гистограммы приведен риск-рейтинг тоннелей трассы БАМ, рассчитанный по рассмотренной методике упрощенной количественной оценки рисков при строительстве подземных сооружений [5].

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что показанный подход является до-

вольно грубым и может быть применен только в качестве предварительной интегральной оценки всего сооружения в целом, без учета его характерных особенностей. Рассмотренная методика не учитывает многие факторы, характерные как для существующих, так и для проектируемых тоннелей БАМ, такие, например, как радиационная обстановка, влияние вечной мерзлоты и склоновых процессов, наличие смежных или пересекаемых подземных выработок в горных массивах и др.

В работе [5] также подчеркивается, что, используя предлагаемый подход при оценке риска, страховые организации, в помощь которым и разрабатывалась методика, должны дополнительно проводить тщательную оценку соответствующих технических данных и запрашивать мнение независимого специалиста в области тоннелестроения для оценки актуального уровня риска каждого конкретного проекта.

Таблица 2
Риск-класс и риск-рейтинг тоннеля на основе суммирования риск-рейтингов таблицы 1

Риск-класс тоннеля	Риск-рейтинг тоннеля
очень высокий	больше 75
высокий	60–75
средний	45–60
низкий	25–45
очень низкий	меньше 25

Рис. 2. Гистограмма распределения риск-рейтинга тоннелей БАМ по упрощенной количественной оценке рисков при строительстве подземных сооружений. Данные для тоннелей соответственно: 1 – Байкальский тоннель; 2–5 – Мысовые тоннели на побережье оз. Байкал; 6 – Северомуйский тоннель; 7–8 – тоннели на обходе Северо-Муйского хребта; 9 – Кодарский тоннель; 10 – Нагорный тоннель; 11 – Дуссе-Алиньский тоннель



В действительности такие меры являются необходимостью, поскольку массивы горных пород в большинстве случаев являются неоднородными, и оценить все риски для тоннеля в целом на этапе проектирования невозможно. Это является одной из причин, по которым на этапе строительства транспортных тоннелей необходимо выполнять краткосрочную оценку инженерно-геологических рисков, детализацию и актуализацию прогноза возможных осложнений впереди забоев тоннеля и на пройденных участках в составе системы комплексного горно-экологического (геотехнического) мониторинга (ГТМ).

Комплекс ГТМ [6] должен включать в себя систему наблюдений, анализа и прогноза современного геодинамического состояния геологической среды, проводимых в рамках заданного регламента, а также оценку негативного влияния горных работ на окружающую среду и безопасность при строительстве подземного сооружения. Системе наблюдений надлежит обеспечивать строительные службы сведениями, необходимыми и достаточными для определения влияний подземного строительства на активизацию опасных геодинамических процессов с целью выбора наиболее безопасных технологий строительства и технологических режимов эксплуатации.

Для этапа эксплуатации транспортного тоннеля разрабатывается система геотехнического мониторинга в составе автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), включающая подсистемы контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) обделок, оценки устойчивости системы «подземное сооружение – вмещающая среда» на основе геофизических методов, сейсмомониторинга и другие [7]. Физическая реализация комплексной автоматизированной системы заключается в использовании контрольно-измерительной аппаратуры, размещаемой в обделках при строительстве тоннелей. Наиболее ценным в такой системе с точки зрения эксплуатации транспортных тоннелей является возможность контроля технического состояния обделки в режиме реального времени и возможность разработки прогноза состояния как всего сооружения в целом, так и в критических интервалах с высоким проектным уровнем риска, например, на участках пересечения тоннеля с зонами тектонических нарушений.

Система комплексного горно-экологического (геотехнического) мониторинга, являясь инструментом научно-технического сопровождения строительства и эксплуатации транспортных тоннелей, создаваемая на принципах риск-ориентированного подхода, является также основным источником новой геотехнической информации о тоннеле и вмещающем породном массиве. На основе непрерывно поступающей информации с контрольно-измерительной аппаратуры, могут быть рассчитаны показатели аварийности на жизненном цикле сооружения, определены требования к прочности, ресурсу, износостойкости, холодостойкости, на-

дежности, живучести и безопасности. С использованием результатов горно-экологического (геотехнического) мониторинга для транспортных тоннелей может быть сформирована структура определяющих уравнений и параметров техногенной безопасности и защищенности от аварий и катастроф, а также предложены новые пути и методы, системы и средства повышения техногенной безопасности и снижения рисков.

Эти задачи являются крайне актуальными – в процессе долгосрочной эксплуатации транспортных тоннелей постепенные разрушения, повреждения и деформации, вызванные длительно проявляющимися геотехническими и техногенными факторами, равно как внезапные разрушения и повреждения конструкций приводят к невозможности дальнейшей эксплуатации сооружений и требуют их незамедлительного ремонта или реконструкции [8]. Появляются и новые «современные» факторы, осложняющие эксплуатацию тоннелей и метрополитенов, например, террористические акты, разрушение тоннелей сваями при проведении строительных работ на земной поверхности и другие [9].

Выводы

Эксплуатация транспортных тоннелей должна осуществляться в условиях минимальных рисков нарушения требований по надежности и безопасности, а также в условиях высокой экономической эффективности профилактического оздоровления дорог и сооружений и восстановления в случае их отказов. Для выполнения этих требований действующая система управления эксплуатацией искусственных сооружений должна иметь информационно-организованную службу, владеющую знаниями о техническом состоянии объектов, о прогнозировании их работы в случае различных комбинаций функциональных нагрузок и внешних природных условий, а также механизм управления с помощью технических решений, технологических и организационных мероприятий [10].

Система ГТМ, создаваемая на принципах риск-ориентированного подхода, является комплексным решением минимизации рисков нарушения требований по надежности и безопасности транспортных тоннелей и включает в себя как источник актуальной информации о техническом состоянии конструкций с краткосрочным и среднесрочным прогнозом их работы, так и информационно-организованную диспетчерскую службу с регламентом реагирования.

Ключевые слова

Геотехнические риски, оценка риска, риск-ориентированный подход, транспортные тоннели, комплексный горно-экологический мониторинг, геотехнический мониторинг.

Geotechnical risks, risk assessment, risk-based approach, transport tunnels, integrated mining and environmental monitoring, geotechnical monitoring.

Литература

1. Perry, J. C. (1986). *Risk management: an approach for project managers. International Journal of Project Management. Vol. 4. No. 4, pp. 211–216.*
2. Krantikumar Mbetre, B. A. Konnur, Amarsinh Landage (2016). *Risk Management in Construction Industry. International Journal of Engineering Research. Vol. 5. Issue Special 1, pp. 153–155.*
3. Меркин В. Е., Зерцалов М. Г., Конохов Д. С. *Управление геотехническими рисками в подземном строительстве // Транспортное строительство. 2013. – № 3. – С. 10–12.*
4. Лебедев М. О., Романевич К. В. *Оценка и прогнозирование природных и техногенных рисков на этапе проектирования Второго Северомуйского тоннеля // Книга тезисов и Программа Первой Евразийской конференции «Инновации в минимизации природных и технологических рисков», 22–24 мая 2019 г., Баку, Азербайджан, с. 106.*
5. D. Brox (2018) *A simplified quantitative risk assessment for the insurability of tunnel projects. World Tunnel Congress 2018. International Tunnel Association, Dubai, UAE, pp. 3718–3731.* [Д. Брок Упрощенная количественная оценка риска для страхования тоннельных проектов // Всемирный тоннельный конгресс 2018. Международная тоннельная ассоциация. Дубай. 2018. – С. 3718–3731.]
6. *Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009. 68 с.*
7. Лебедев М. О., Маслак В. А., Безродный К. П., Исаев Ю. С. *Минимизация природных и технологических рисков при эксплуатации Олимпийских тоннелей Сочи // Книга тезисов и Программа Первой Евразийской конференции «Инновации в минимизации природных и технологических рисков», 22–24 мая 2019, Баку, Азербайджан, с. 107.*
8. Власов С. Н., Маковский Л. В., Меркин В. Е. *Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. ТИМР. Москва. 2000. 197 с.*
9. Гарбер В. А. *Нештатные ситуации при строительстве и эксплуатации Московского метрополитена за последние 40 лет // Метро и тоннели. 2014. № 3. – С. 34–35.*
10. *Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок «Безопасность железнодорожного транспорта». Безопасность железнодорожного транспорта в условиях Сибири и Севера. Научн. рук. Н. А. Махутов. – М.: МГОФ «Знание», 2014, – 856 с.*

Для связи с авторами

Лебедев Михаил Олегович
Lebedev-lmg@yandex.ru
Романевич Кирилл Викторович
romanevichkirill@gmail.com



ПЕРЕДОВЫЕ МЕТОДЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ИННОВАЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ГСН. ЭКСКЛЮЗИВНАЯ РОССИЙСКАЯ РАЗРАБОТКА

Сегодня в России одним из инновационных методов гидроизоляции считается технология компании ООО «ПромЭнергоРесурс». Используемые на рынке с 2005 г. гидроизоляционные смеси ГСН-1 и ГСН-2 успешно прошли проверку временем и зарекомендовали себя в самых разных областях применения. Именно гидроизоляционный материал ГСН, эксклюзивным производителем и поставщиком которого является ООО «ПромЭнергоРесурс», используется при ремонте и строительстве метрополитенов. О преимуществах и особенностях данного метода для подземки расскажут эксперты: заместитель генерального директора АО «Московский метрострой» Сергей Георгиевич Камышов, начальник конструкторского отдела ООО «ПКБ Инжпроект» Марина Чернышова, а также директор по строительству ООО «ПромЭнергоРесурс» Константин Владимирович Добровольский.

– *Технология ГСН была разработана еще в 2005 г. Расскажите, пожалуйста, с чего все начиналось?*

Говорит директор по строительству ООО «ПромЭнергоРесурс» К. В. Добровольский:

– Новый гидроизоляционный материал был создан сотрудниками НИОКР компании ООО «ПромЭнергоРесурс». Технологию по его применению, в свою очередь, разработали специалисты ЦНИИС. Несколько лет назад на базе Центрального научно-исследовательского института транспортного строительства (ЦНИИС) в НИЦ «Тоннели и метрополитены» были проведены испытания, подтвердившие уникальные свойства технологии ГСН. Их результаты показали, что слой материала ГСН толщиной всего 5 см выдерживает гидростатическое давление 100 м водяного столба. При этом материал остается пластичным, не токсичен и экологически чист, имеет высокую стойкость к неполярным жидкостям (нефти, маслам, бензину) и ус-

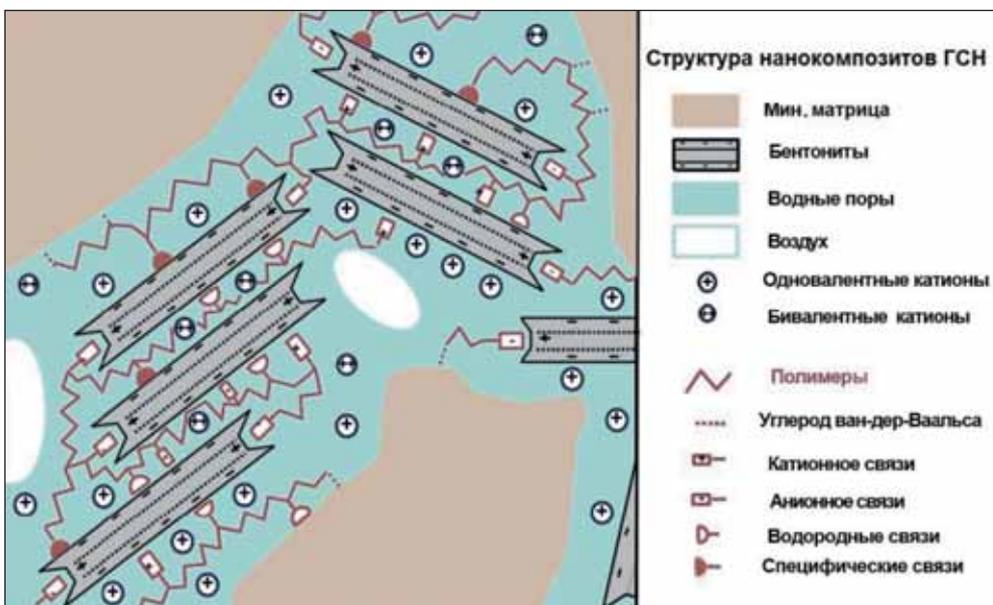
тойчив к суффозии, а также обладает высокой проникающей и тампонирующей способностью. Данная технология внесена в Изменение № 2 к СП 120.13330.2012 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены».

Современное технологичное производство и складская площадка расположены в ЦФО в Московской области. Наша система менеджмента качества всех производственных, технологических и бизнес-процессов сертифицирована и соответствует требованиям ГОСТ ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015). Материалы ГСН выпускаются на современном высокотехнологичном оборудовании по ТУ 5745-002-85760445-14 (Рег. № ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»), производственные мощности которого составляют 40–50 тн/смена. Материалы ГСН производятся под жестким контролем качества собственной производственной лаборатории и аккредитованных московских лабораторий, за счет этого обеспечивается стабильное качество и однородная структура материалов.

– *Для безопасного движения поездов особую угрозу представляют течи с выносом породы. Чаше всего такие протечки наблюдаются как раз в тоннелях последних очередей строительства. В чем заключается специфика работ по ликвидации течей в Московском и Петербургском метрополитенах?*

– Компания ООО «ПромЭнергоРесурс», помимо производства гидроизоляционных материалов, оказывает услуги подряда при ремонте и строительстве данных гидроизоляционных систем в Московском метрополитене и имеет филиал для ремонта и строительства Петербургского метрополитена.

Устранение протечек паркинга или спецобъектов, естественно, отличается от аналогичных работ в метрополитене. Хотя технологии ГСН успешно применяются в самых разных областях, существует целый ряд особенностей, характерных именно для метро. Во-первых и самое главное:





тоннель с учетом проходящего контактного рельса – это место повышенной опасности. Так что право на ошибку просто отсутствует. Во-вторых, штатные ремонтные работы проводятся только в ночное время, что требует от специалистов повышенной концентрации. И в-третьих, важно не превышать установленного давления при закачке материала за обделку.

Главное преимущество смесей ГСН при новом строительстве заключается в том, что они не только просты в применении, но и не требуют специальной подготовки поверхностей, что особенно актуально для искусственных сооружений метрополитена, где всегда повышенная влажность. Также для их эффективного использования не нужно устранять шероховатости защищаемых поверхностей. Кроме того, по сравнению с аналогичными материалами других компаний, гидроизоляционный материал ГСН является сейсмоустойчивым к деформациям конструкции в окружающих породах и грунтах и не образует трещин при статических и динамических нагрузках, возникающих при движении поездов. Срок эксплуатации данного материала составляет не менее 100 лет.

– Для качественной организации и производства работ по ликвидации течей

в метрополитене применяется гидроизоляционная сухая смесь ГСН-2. Расскажите, пожалуйста, про ее состав и особенности.

– Смесью ГСН-2 идеально подходит для работ по ликвидации течей именно в транспортном строительстве. В частности, гидроизоляционная смесь ГСН-2 одобрена на основе многолетнего опыта применения в ГУП «Петербургский метрополитен», а в ГУП «Московский метрополитен» включена в Программу развития службы путей и искусственных сооружений с 2016 по 2020 гг. Ее состав – это фракционные отобранные пески и полимерминеральный композит. Работает она следующим образом. Частицы добавок при взаимодействии с водой набухают, увеличиваясь в объеме ровно в 4 раза. Следует отметить, что только в момент приготовления пасты, а не за обделкой. Особым преимуществом ГСН-2 является то, что при циклическом размораживании и замораживании грунта паста из этого материала сохраняет все свои свойства. Эта технология позволяет ликвидировать течи методом уплотнительного нагнетания пасты в заобделочное пространство. Материал ГСН-2 отличается пластичностью, не стекленеет и со временем не превращается в цементный камень. Сегодня для инъекционной гидроизоляции РФ 1 литр пасты

ГСН имеет самую низкую стоимость по сравнению с конкурентами, её стоимость не превышает 30 руб. за 1 литр.

– Какое оборудование необходимо для осуществления работ по ликвидации течей в метрополитене? Насколько оно дорогостоящее?

– По своим характеристикам шнековый растворонасос m-tec «speedy MP» (Германия) лучше всего подходит для работ в условиях тоннелей Московского метрополитена. Его отличают небольшие габариты и относительно малый вес, что позволяет легко установить его на платформу, а также мощный и надежный электродвигатель, способный осилить большие объемы закачки материала без поломок, причем оборудование не требует ежедневной промывки.

Что касается выполнения малых буровых работ, то для них наилучшим образом подходит компактная, но при этом мощная установка алмазного бурения Husqvarna DMS 160 (Хускварна ДМС 160 – Швеция). Она позволяет делать отверстия не только вблизи стен, но и в углах.

– Мы обсудили особенности ГСН-2. А для чего используется технология гидроизоляционная сухая смесь ГСН-1?





Говорит заместитель генерального директора АО «Московский метрострой» С. Г. Камышов:

– Стоит отметить, что простой, не требующий высокой квалификации рабочих, метод ведения работ позволяет выполнять строительство гидроизоляции бригаде из четырех человек со скоростью до 1000 м² в смену, а саму технологию ГСН отличает низкая приведенная стоимость гидроизоляции на 1 м² защищаемого сооружения (до 20 %), а также низкие трудозатраты на монтаж гидроизоляции (до 40 %).

Задача сухой смеси ГСН-1 – создавать противодиффузионные и гидрозащитные сооружения от грунтовых и паводковых вод при строительстве. Состав гидроизоляционной сухой смеси ГСН-1 – это фракционная отобранная смесь песков и полимер-минеральный композит. Ее особенность заключается в том, что при взаимодействии с водой частицы добавок незначительно набухают, что позволяет в дальнейшем избежать серьезных протечек. Кроме того, при циклическом размораживании и замораживании грунта паста из материала ГСН-1 своих свойств не теряет, что особенно актуально в условиях нашего климата.

– Правильно ли я понимаю, что ГСН-1 активно используется при строительстве новых станций метрополитена?

– Да, совершенно верно. По опыту, наибольшее количество протечек наблюдается в притоннельных сооружениях, а также по границам открытого способа строительства с закрытым способом строительства, где в последние два десятилетия активно используются высокотехнологичные мембраны и напыляемые системы, обладающие высокими водонепроницаемыми свойствами только при качественном монтаже. Использование технологии ГСН позволяет в дальнейшем избежать трудоемких и дорогостоящих мероприятий по ликвидации течей. Проекты на строительство или реконструкцию с данными материалами успешно проходят экспертизу и

уже реализованы на станциях «Борисово», «Саларьево», «Беломорская», «Ховрино», «Ленинский проспект», «Филевский парк», «Румянцево», «Деловой центр». И по прошествии времени имеют только положительные отзывы.

– В метро как в особо опасном объекте существуют повышенные требования к сертификации материалов и технологий. Насколько успешно технологии компании «Пром-ЭнергоРесурс» прошли соответствующие проверки?

Говорит начальник конструкторского отдела ООО «ЛКБ Инжпроект» Марина Чернышева:

– В результате исследований, гидроизоляционные смеси ГСН-1 и ГСН-2 были сертифицированы к применению в транспортном строительстве, в сейсмически опасных зонах, в атомном строительстве, отнесены к группе трудно-горючих материалов. Согласно ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» воспламенение и самовоспламенение у них отсутствует при температуре 600 °С. Так что пожаробезопасность этой технологии гораздо выше, чем у других производителей.

Нашим институтом проработаны практически все встречающиеся в транспортном строительстве узлы гидроизоляции под данные системы ГСН-1 и ГСН-2.

– Каковы перспективы по использованию данной технологии в Московском метрополитене?

– Наши проекты с данными системами гидроизоляции ГСН-1 уже успешно реализованы (имеют промышленное внедрение), в частности, ВОО ПК 204 на участке Сокольнической линии Московского метрополитена от станции «Румянцево» до станции «Саларьево», перекрытие распредела станции «Саларьево», станция «Ленинский проспект», станция «Филевский парк», станция «Румянцево». Учитывая успешный опыт эксплуатации, данный

тип гидроизоляции запроектирован и прошел государственную экспертизу на нескольких других станциях метро. Но неожиданно проектировщики столкнулись со следующей проблемой – по непонятной причине в АО «Мосинжпроект» происходят замены проектных решений с данными материалами, уже прошедших экспертизу, на более дорогостоящие, трудоемкие и менее долговечные оклеечные системы гидроизоляции.

Ключевые слова

Освоение подземного пространства, современные методы гидроизоляции, российская разработка, инновационная разработка, современное технологичное производство.

Список литературы

1. Изменение № 2 к СП 120.13330.2012 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены» Пункт 5.6.3 дополнить подпунктами – 5.6.3.19а, 5.6.3.19б, Дата введения 2017– 06-17.
2. Стандарт организации СТО № СРО-П 60542948 00038-2015 ОАО «Концерн Росэнергоатом».
3. Тех. Регламент № 1-548-83363/2017 от 14.12.2017 г. ОАО «ЦНИИС НИЦ ТИМ», АО «Мосинжпроект», ДСМ ГУП «Московский метрополитен».
4. Заключение на применение материалов ГСН для транспортного строительства № б/н от 23.01.2017 г. ОАО «ЦНИИС НИЦ Тоннели и Метрополитены».
5. Заключение на применение материалов ГСН в сейсмически опасных районах № б/н от 28.03.2016 г. ОАО «ЦНИИС НИЦ Тоннели и метрополитены».
6. Стандарт организации СТО № 7.3.27.03.2013 ОАО «ЦНИИС НИЦ ТИМ» от 27.03.2013 г.
7. Протокол № ДСМ/1-07-1205/1 ОАО «Мосинжпроект», ДСМ от 7.01.2012 г. Рассмотрение перспективных материалов и технологий для гидроизоляции подземных сооружений метрополитена.

Для связи с автором интервью

Покровская Светлана Игоревна
runovas@rambler.ru



ИННОВАЦИОННАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д. С. Колюхов, к. т. н., Т. Е. Кобидзе, к. т. н., АО «Мосинжпроект»

В статье представлена строительная система, обеспечивающая, в том числе, нанесение гидроизоляционного покрытия адгезионного крепления на тех конструктивных элементах обделок подземных сооружений открытого и полужакрытого способа работ, наружная изолируемая поверхность которых, после возведения, недоступна для применения традиционных гидроизоляционных материалов и систем.

Технический результат достигнут за счет разработки конструкционно-технологических решений с применением гидроизоляционных материалов последнего поколения, которые, в отличие от традиционных материалов, в виде предварительно устроенных (предустановленных) покрытий проявляют способность к адгезионному сцеплению к свежееуложенному бетону возводимых конструкций с недоступной наружной поверхностью, к которым относятся лотковая плита, прижимная стенка несущей «стены в грунте», стеновые конструкции, возводимые без пазух для обратной засыпки грунта. В результате сокращаются сроки строительства, число операций и материальные расходы при выполнении гидроизоляционных работ, обеспечивается надежность, долговечность и ремонтпригодность гидроизоляционного покрытия и безопасность подземного сооружения.

Концептуальной новизной представленной гидроизоляционной системы для подземных сооружений открытого и полужакрытого способа работ является применение гидроизоляционных материалов, которые в виде предварительно устроенных гидроизоляционных покрытий проявляют способность к адгезионному сцеплению к свежееуложенному бетону.

Данное свойство этих материалов определило возможность разработки, защищенных патентами РФ [1, 2] конструкционно-технологических решений по устройству гидроизоляции адгезионного закрепления, в том числе, для тех элементов обделок настоящих сооружений, наружная поверх-

ность которых, после возведения, отличается отсутствием доступа для нанесения традиционных гидроизоляционных материалов (направляемые рулонные и напыляемые материалы на основе битумно-полимерных композиций, напыляемые составы на основе полимочевины, метилметакрилата, полиуретана и др.). К числу этих элементов относятся (рис. 1):

- лотковая плита подземных сооружений любого типа;
- прижимные стенки ограждающих конструкций котлована, используемых в качестве несущих стеновых конструкций сооружений, возводимых открытым или полужакрытым способом «сверху-вниз»;

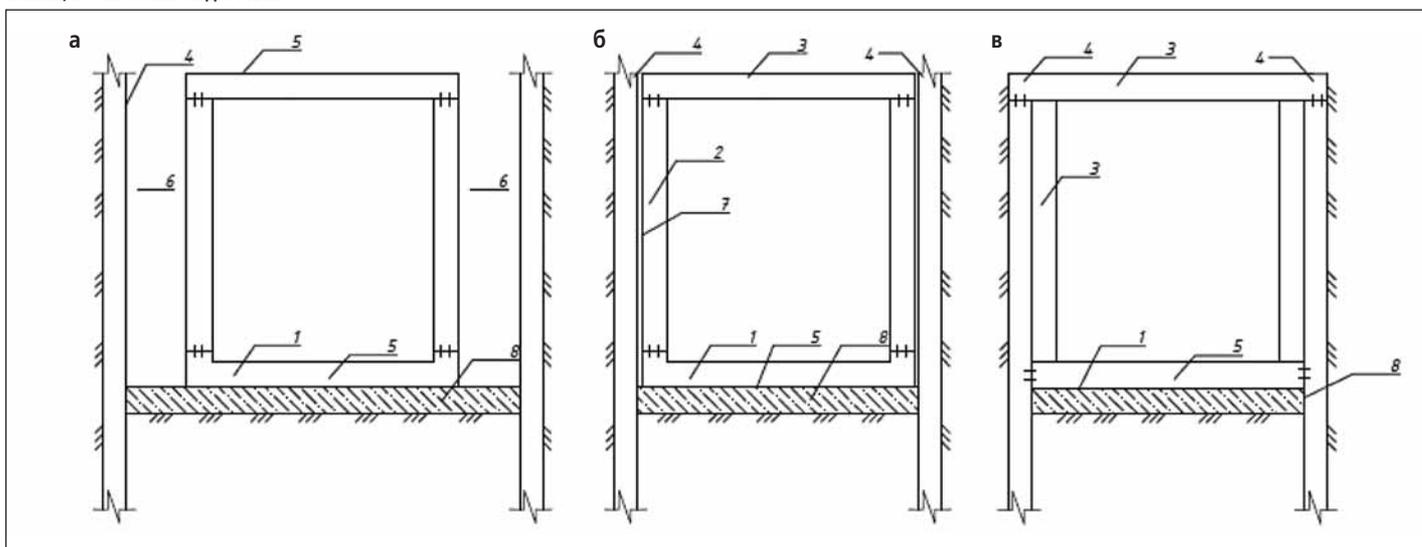
- стеновые конструкции подземных сооружений, возводимых открытым или полужакрытым способом без пазух для обратной засыпки грунта.

Система базируется на применении двух разновидностей гидроизоляционного материала:

- напыляемый полимерный состав с «двухсторонней» адгезией, обеспечивающий требуемое адгезионное сцепление (не менее 0,5 МПа) не только к поверхности ранее уложенного «старого» бетона, но и, в отличие от традиционных материалов, к поверхности свежеприготовленной бетонной смеси, уложенной на отвержденное гидроизоляционное покрытие. К составам

Рис. 1. Базовые методы строительства подземных сооружений: а – открытый способ с пазухами для обратной засыпки грунта, с наличием или без ограждающих конструкций котлована; б – открытый или полужакрытый способ без пазух для обратной засыпки грунта; в – открытый и полужакрытый способ при несущей «стене в грунте» с прижимной стеной

Конструктивные элементы подземных сооружений без доступа к наружной изолируемой поверхности: 1 – плита лотковая; 2 – стеновая конструкция; 3 – прижимная стена. Другие конструктивные элементы: 4 – «стена в грунте»; 5 – плита верхнего перекрытия; 6 – пазухи для обратной засыпки грунта; 7 – плоскость скольжения; 8 – бетонная подготовка



этой группы относятся представленные на отечественном рынке напыляемые материалы на основе этилен-винилацетата (Masterseal 345 компании BASF, Tamseal 800 компании Normet и др.);

- гибкий листовый материал с поверхностным слоем, обеспечивающий требуемое адгезионное сцепление материала к бетонной конструкции, уложенной в виде свежеприготовленной бетонной смеси на предварительно устроенное листовое покрытие (рис. 2). Материал в виде бесшовного гидроизоляционного полотна изготавливается в построчных условиях путем нанесения напыляемого состава с двухсторонней адгезией на заранее установленную армирующую подложку из нетканого геотекстиля с наружным полиэтиленовым покрытием [2].

С недавних пор на отечественный рынок стали поступать импортные гидроизоляционные материалы аналогичного типа и назначения заводской готовности в рулонах на полиэтиленовой основе, с поверхностным адгезионным слоем и защитным покрытием, в том числе в виде мелкозернистой посыпки (рис. 2).

Укладка этих материалов на горизонтальных и вертикальных конструкциях выполняется с помощью технологических швов путем наложения с нахлестом и силовой прокатки продольных самоклеящихся кромок параллельно расстилаемых рулонов. Таким же способом выполняется сопряжение поперечных кромок, но с помощью специальных накладных клеящих лент (рис. 3).

Защитное покрытие материалов обеспечивает:

- транспортность продукции в рулонах;
- защиту укладываемого гидроизоляционного покрытия от воздействия ультрафиолетовых лучей;
- возможность выполнения работ по монтажу армокаркаса и монолитному бетонированию лотковой плиты без устройства за-

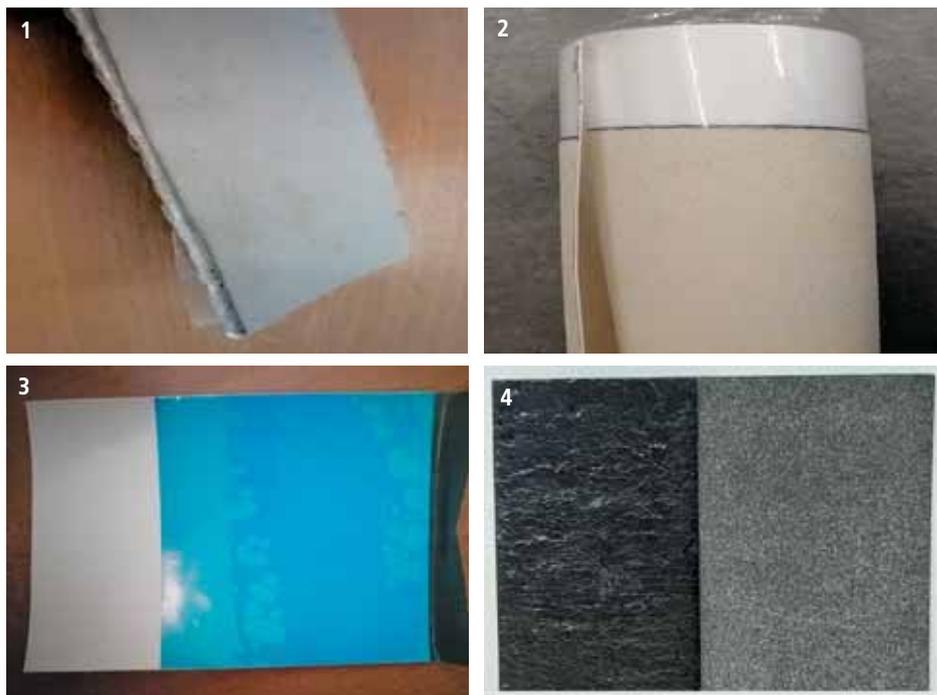


Рис. 2. Гидроизоляционные листовые материалы с адгезией к свежее уложенному бетону: 1 – бесшовное гидроизоляционное покрытие, изготавливаемое в построчных условиях нанесением поверхностного адгезионного слоя из напыляемых составов с двухсторонней адгезией на геотекстильную армирующую подложку; 2 и 3 – гидроизоляционный трехслойный рулон заводской готовности с самоклеящимися кромками, с поверхностным адгезионным и защитным слоем с песчаной посыпкой и без песчаной посыпки, соответственно; 4 – материал на основе битумно-полимерного композита (лицевая сторона с песчаной посыпкой справа)

щитного слоя гидроизоляции из мелкозернистого бетона.

К этой группе материалов относится продукция компаний NORMET, GRACE и SOPREMA под маркой TamSeal 2000, Preprufelplus и COLPHENE BSW, соответственно.

COLPHENE BSW является разновидностью рассматриваемых материалов на основе битумно-полимерного композита (типа отечественного «Техноэласт» на полимерной основе), отличающаяся возможностью выполнить перевязку с нахлестом самоклеящихся продольных и поперечных кромок

рулонов с помощью их теплового разогрева, в качестве дополнительного мероприятия для повышения надежности технологических швов укладываемого гидроизоляционного покрытия.

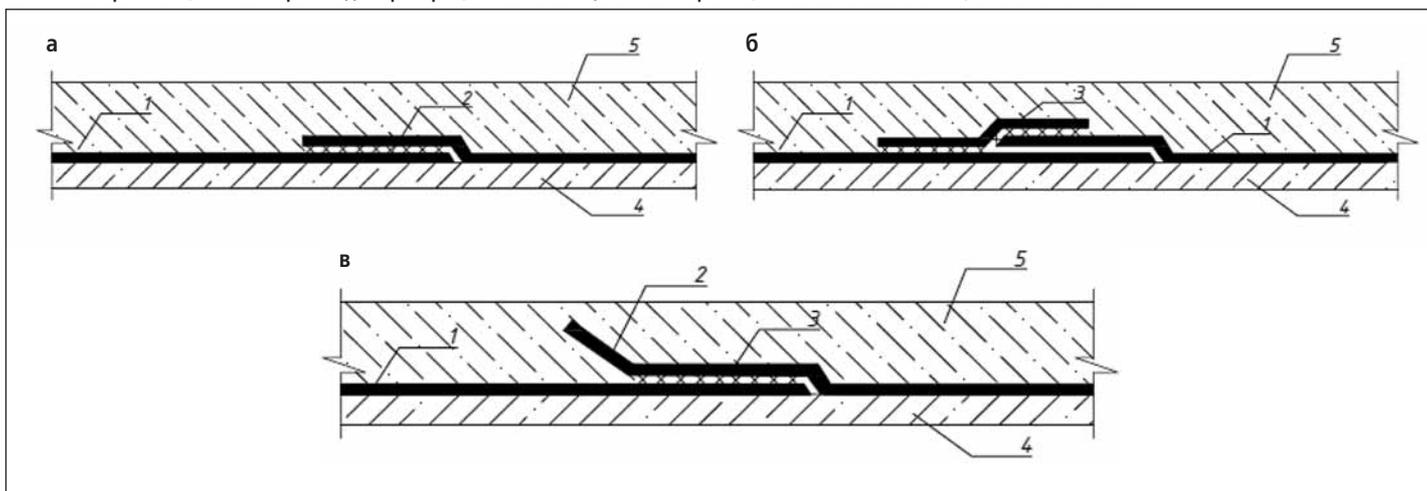
Ниже приводится краткая характеристика гидроизоляционных работ, производимых на основе предлагаемых материалов и конструктивно-технических решений.

Гидроизоляция лотковой плиты (рис. 3 и 4)

Предлагается производить двумя возможными способами:

Рис. 3. Гидроизоляция лотковой плиты с применением мембран заводской готовности

Схема укладки трехслойных листовых мембран с нахлестом: а – самоклеящихся полос продольных кромок, б – поперечных кромок с накладными клеящимися листами; 1 – трехслойная листовая мембрана; 2 – технологический шов из самоклеящихся полос продольных кромок; 3 – накладной клеящийся лист; 4 – бетонная подготовка; 5 – лотковая плита; в – схема укладки мембран на битумно-полимерной основе «Кольфен BSH» с нахлестом продольных и поперечных кромок: 1 – рулоны «Кольфен BSH»; 2 – часть кромок для приварки; 3 – самоклеящаяся часть кромок; 4 – бетонное основание; 5 – лотковая плита



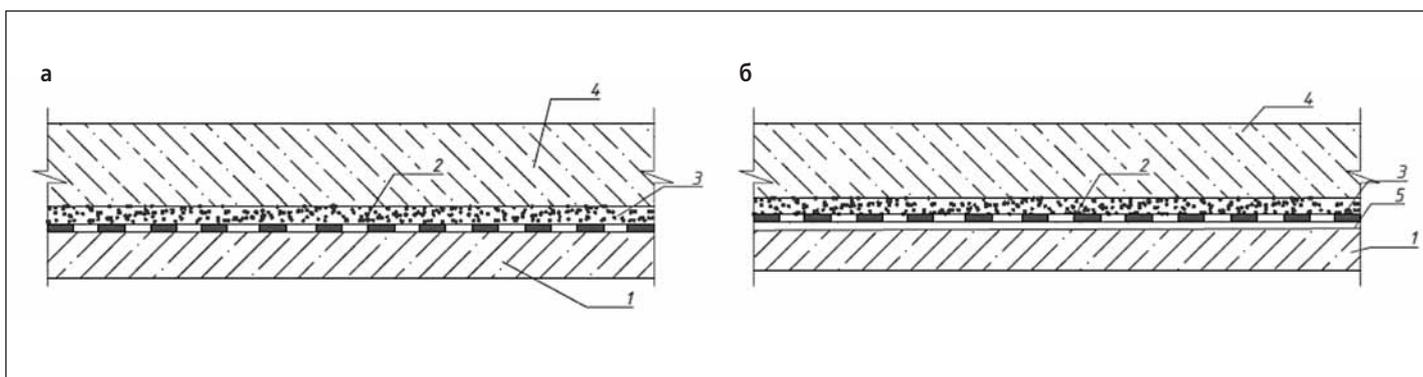


Рис. 4. Бесшовная гидроизоляция лотковой плиты с укладкой напыляемых составов с двухсторонней адгезией: а – на бетонное покрытие; б – на подстилающийся слой из геотекстильной ткани; 1 – бетонная подготовка; 2 – гидроизоляционное покрытие; 3 – защитный слой из мелкозернистого бетона; 4 – лотковая (фундаментная) плита; 5 – геотекстильная ткань

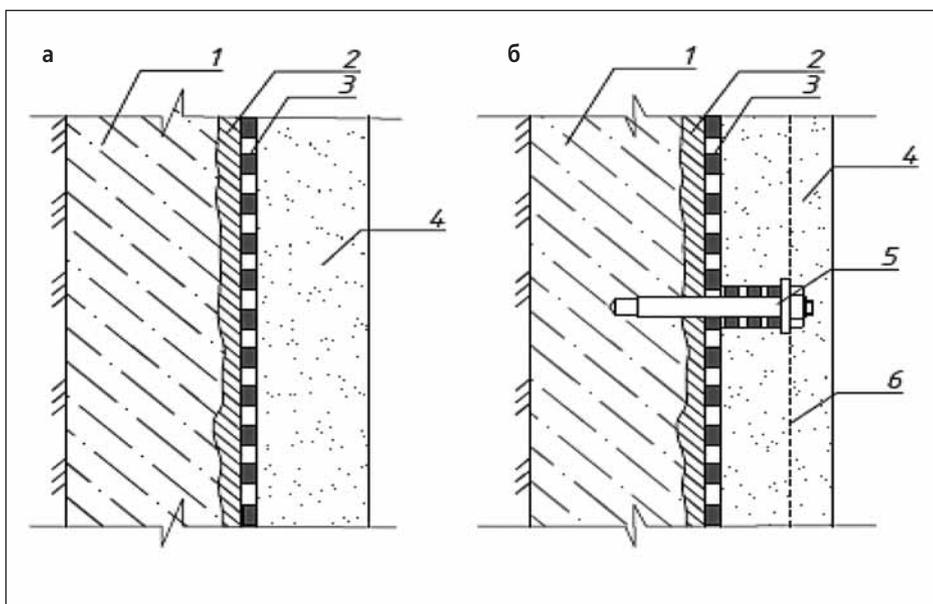
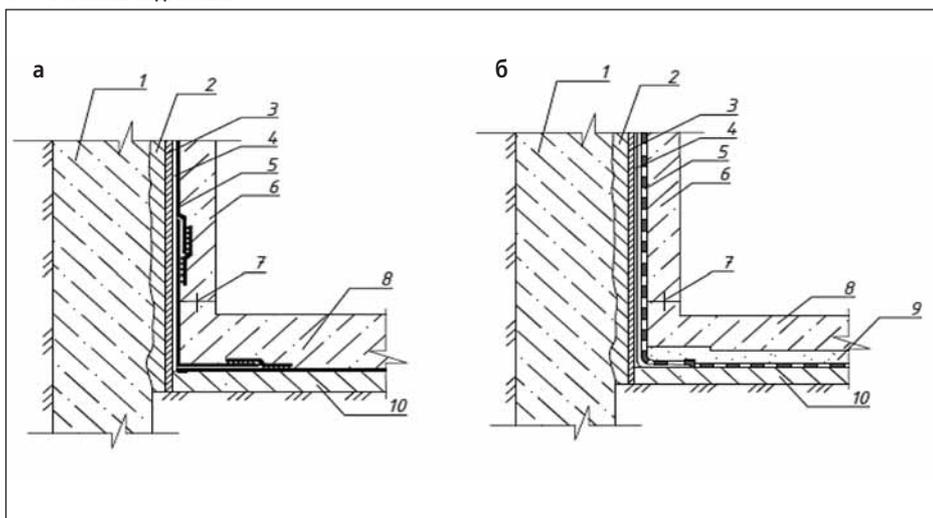


Рис. 5. Гидроизоляция несущей «стены в грунте»: 1 – несущая «стена в грунте»; 2 – выравнивающий слой из мелкозернистого бетона; 3 – гидроизоляционное покрытие из напыляемых полимерных составов с двухсторонней адгезией; 4 – прижимная стена из монолитного или фибронабрызг-бетона; 5 – стальной анкер; 6 – стальная сетка

Рис. 6. Гидроизоляция стеновых конструкций без пазух для обратной засыпки грунта, с применением: а – мембран, заводской готовности, б – листовой гидроизоляции с поверхностным слоем из напыляемых составов с двухсторонней адгезией; 1 – «стена в грунте»; 2 – выравнивающий слой из мелкозернистого бетона или фальшстена; 3 – слой из геотекстильной ткани, ППС плит или профилированных мембран; 4 – плоскость скольжения; 5 – гидроизоляционное покрытие на схеме а) и б); 6 – постоянная стеновая конструкция; 7 – гидрошпонка; 8 – лотковая плита; 9 – защитный слой из мелкозернистого бетона; 10 – бетонная подготовка



- путем напыления бесшовного гидроизоляционного покрытия из полимерных составов с двухсторонней адгезией непосредственно на бетонную подготовку или армирующую подложку из нетканого геотекстиля, предварительно уложенной методом «свободной» укладки на бетонную подготовку;

- посредством «свободной» укладки на бетонную подготовку гидроизоляционных рулонов заводской готовности с поверхностным адгезионным слоем с последующим их склеиванием.

В обоих случаях на предварительно уложенном гидроизоляционном покрытии методом монолитного бетонирования возводится лотковая плита.

В заданных условиях к преимуществам рулонной гидроизоляции относится:

- отсутствие защитного слоя гидроизоляционного покрытия;
- возможность без промедления начинать работы по армированию и бетонированию лотковой плиты.

Гидроизоляция несущей «стены в грунте» (рис. 5)

Предлагается выполнять путем напыления составов с двухсторонней адгезией на подготовленную поверхность «стены в грунте» с последующим возведением внутренней стеновой конструкции из монолитного или набрызг-бетона вплотную к гидроизоляционному покрытию, рассчитанной на восприятие ожидаемого отрицательного гидростатического давления [3]. В результате обеспечивается образование стеновой конструкции типа «сэндвич» со средней гидроизоляционной прослойкой с двухсторонним адгезионным сцеплением [1].

Гидроизоляция стеновых конструкций без пазух для обратной засыпки грунта (рис. 6)

Отличительной чертой сооружений данного типа является взаимный сдвиг стеновой конструкции и «стены в грунте» при осадке подземного сооружения.

Для надежной гидроизоляции рассматриваемой стеновой конструкции предлагается устройство гидроизоляционного покрытия, адгезионно закреплен-



Рис. 7. Послойное устройство гидроизоляции несущей «стены в грунте» с применением напыляемого состава с двухсторонней адгезией. Слева направо: «стена в грунте»; выравнивающий слой с выпусками анкеров; слой напыляемой гидроизоляции; армирующая сетка, слой набрызг-бетона

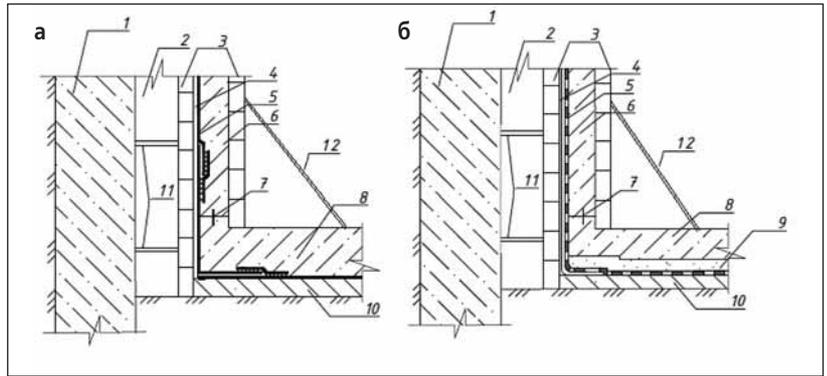


Рис. 8. Гидроизоляция стеновых конструкций открытого способа с пазухами для обратной засыпки грунта: 1 – ограждение котлована; 2 – пазухи; 3 – внешний и внутренний щит опалубки; 4 – подложка из геотекстильной ткани; 5 – гидроизоляционное покрытие: а – из рулонов заводской готовности, б – из напыляемых составов; 6 – монолитная стеновая конструкция; 7 – гидрошпонка; 8 – лотковая плита; 9 – защитный слой гидроизоляции; 10 – бетонная подготовка; 11 – телескопические шпindelи; 12 – рама для одностороннего бетонирования

ного на наружной недоступной поверхности несущей стены и способного к свободному перемещению (скольжению) относительно «стены в грунте». Достигается это путем:

- устройства методом свободной укладки на подготовленной поверхности «стены в грунте» (выровненной и покрытой защитным покрытием со скользящей поверхностью из геотекстиля, плит ППС или профилированных мембран) гидроизоляционного покрытия из рулонов заводской готовности или полотен геотекстиля с напыленным поверхностным слоем с двухсторонней адгезией, выполненной в построчных условиях;

- возведения постоянной стеновой конструкции методом монолитного бетонирования вплотную к гидроизоляционному полотну свободной кладки с адгезионным поверхностным покрытием.

Результаты лабораторных и стендовых испытаний (рис. 7) позволили экспертной комиссии, представляющей АО «Мосинжпроект», Дирекцию строящегося метрополитена г. Москвы, ОАО «Моспромпроект», ОАО «Ленметрогипротранс», ОАО «Мосметрострой» и ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», рекомендовать опытное применение разработанных гидроизоляционных систем для строительства Московского метрополитена.

Гидроизоляция стеновых конструкций с пазухами для обратной засыпки грунта (рис. 8)

В данных строительных условиях устройство рассматриваемых гидроизоляционных систем совмещается с процессом поэтапного возведения стеновой конструкции с помощью двухсторонней опалубки без тяжа, оснащенной рамами для одностороннего бетонирования (в котлованах без ограждающих конструкций), или наружный щит которой с помощью телескопических шпindelей упирается в ограждение котлована.

Этап данного вида работ включает в себя:



Рис. 9. Устройство гидроизоляционного покрытия из рулонов заводской готовности на основе битумно-полимерного композита с адгезией к свежееуложенному бетону, при возведении постоянной стеновой конструкции без пазух для обратной засыпки грунта

- свободную укладку рулонов заводской готовности или геотекстильных полотен на внутренней поверхности наружного щита. В случае применения геотекстильного полотна-подложки – напыление гидроизоляционного покрытия на подложку;

- монтаж армирующего каркаса и внутреннего щита с последующим бетонированием возведенной секции опалубки;

- демонтаж опалубки стеновой конструкции, возведенной поэтапно таким образом, с адгезионно закрепленным гидроизоляционным покрытием на наружной поверхности;

- устройство защиты гидроизоляционного покрытия;

- обратную засыпку пазух грунтом.

Ключевые слова

Предустанавливаемая гидроизоляция, двухсторонняя адгезия, обделка подземных сооружений.

Список литературы

1. Подземное сооружение, патент РФ № 162638; 2016 г.
2. Подземное сооружение, патент РФ № 164721; 2016 г.
3. СП 120.13330-2012 Метрополитены.

Для связи с авторами

Конюхов Дмитрий Сергеевич
gidrotehnik@inbox.ru
Кобидзе Тенгиз Евгеньевич
koba1948@mail.ru



ОСНОВНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИНЕРАЛЬНЫХ ИНЪЕКЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ

А. П. Нефедьев, А. К. Нефедьева, ООО «Синерго»

С. И. Баженова, к. т. н., доцент кафедры Технологии вяжущих веществ и бетонов НИУ МГСУ

Закрепление грунтов методом инъекционной цементации широко применяется при освоении подземного пространства в условиях плотной городской застройки. Наиболее приемлемой является технология закрепления грунтов с применением микроцементов.

Для изготовления микроцементов используются два способа: домол исходного цемента и тонкий помол с сепарированием цемента в замкнутом цикле.

Показано, что технологическим требованиям по инъекционному закреплению грунтов в наибольшей степени отвечают сепарированные микроцементы с нормированным зерновым составом. Сепарированные микроцементы обладают высоким коэффициентом пригодности, обеспечивают необходимую седиментационную устойчивость цементных суспензий, что предотвращает образование перемычек и сводов в порах грунта. При использовании этих микроцементов достигается высокая прочность грунтового массива с низкой водопроницаемостью.

При быстром развитии современных городов, особенно мегаполисов, остро стоит проблема эффективного освоения их подземного пространства. При этом в 20 % случаев подземные сооружения строятся или будут строиться в сложных горно-геологических условиях, характеризующихся неустойчивыми грунтами [1].

Перспективным технологическим приемом в строительстве, обеспечивающим долговечность зданий и сооружений при их эксплуатации, является искусственное повышение несущей способности оснований зданий и сооружений за счет применения инъекционного закрепления грунтов [2–4].

Закрепление грунтов – это искусственное преобразование (физико-химическими методами) свойств грунтов для целей строительства в условиях их естественного залегания. При закреплении грунтов их структура существенно не изменяется, однако вследствие инъецирования различных реагентов в них возникают прочные структурные связи. В результате закрепления грунтов увеличивается несущая способность основания, повышается его прочность, водонепроницаемость, сопротивление размыву и др. [2, 5, 6]. Следует отметить высокую технологическую, экологическую и экономическую эффективность цементационного закрепления грунтов, что подтверждается многолетней практикой применения этого метода [3, 5, 7–10]. Необходимо заметить, что в практике выполнения строительных работ часто используется нагнетание цементных растворов для закрепления грунтов без учета их гранулометрического состава. При этом независимо от грунтовых условий способ закрепления называют цементацией, хотя согласно [5] для обеспечения заданных показателей закрепленного грунтового массива требуется со-

блюдение оптимального соотношения между размерами частиц раствора и грунта.

Наибольшее распространение в условиях плотной городской застройки получили следующие цементационные технологии закрепления грунтов и усиления строительных конструкций [1, 10, 11]:

- инъекционная цементация с использованием тонкодисперсных вяжущих (микроцементов) и манжетной технологии;
- струйная цементация грунтов по одно- и двухкомпонентной технологии;
- компрессионно-разрывная цементация грунтов;
- заполнительная цементация грунтов.

Для существующей плотной городской застройки наиболее приемлемым и щадящим способом закрепления грунтов является манжетная технология с применением микроцементов [3, 10].

В настоящее время на строительном рынке появляется много новых вяжущих материалов, свойства и область применения которых обусловлены высоким содержанием в них тонкой фракции. Одним из таких материалов является микроцемент – особо тонкодисперсное минеральное вяжущее (ОТДВ), которое отличается дисперсностью, фазовым и вещественным составом, а также уровнем строительной и технологической надежности.

Для производства микроцементов в основном используются следующие способы:

- домол исходного цемента различными способами;
- помол с последующей воздушной сепарацией исходного сырья в специальных сепарационных установках по заданному режиму с выделением наиболее мелких частиц и разделением их на фракции.

Первый способ привлекает своей технологической доступностью и простотой при-

меняемого оборудования. При домоле цемента применяются однокамерные барабанные и вибрационные шаровые мельницы малой и средней мощности, основным методом разрушения частиц материала в которых является истирание [12]. Это помольное оборудование характеризуется низким коэффициентом полезного действия, непосредственно на образование новых поверхностей затрачивается не более 8–10 % от всей подводимой энергии. Возможности энергоэффективного измельчения цемента в шаровых однокамерных мельницах оказываются исчерпанными уже на уровне удельной поверхности в 3000 см²/г. Все попытки увеличить удельную поверхность цементного порошка оборачиваются снижением производительности и катастрофическим расходом энергии на получение продукта заданной дисперсности.

При этом увеличение удельной поверхности цемента, как и его активность нельзя рассматривать в отрыве от гранулометрического состава высокодисперсной системы, которой и является цемент. Готовый продукт, полученный в шаровых мельницах, характеризуется широким зерновым составом, хотя, как известно, монофракционные цементы обычно обладают прочностью более высокой, чем цементы с широким распределением частиц по размерам [13, 14].

При домоле исходного цемента сложно получить микроцемент требуемого фракционного состава. Особенно важно предотвратить наличие в нем части зерен крупных размеров, которые в процессе инъекции суспензии в грунт или в структуру каменного материала будут играть роль «пробок», закупоривающих капилляры и поры и останавливающих процесс инъекции.

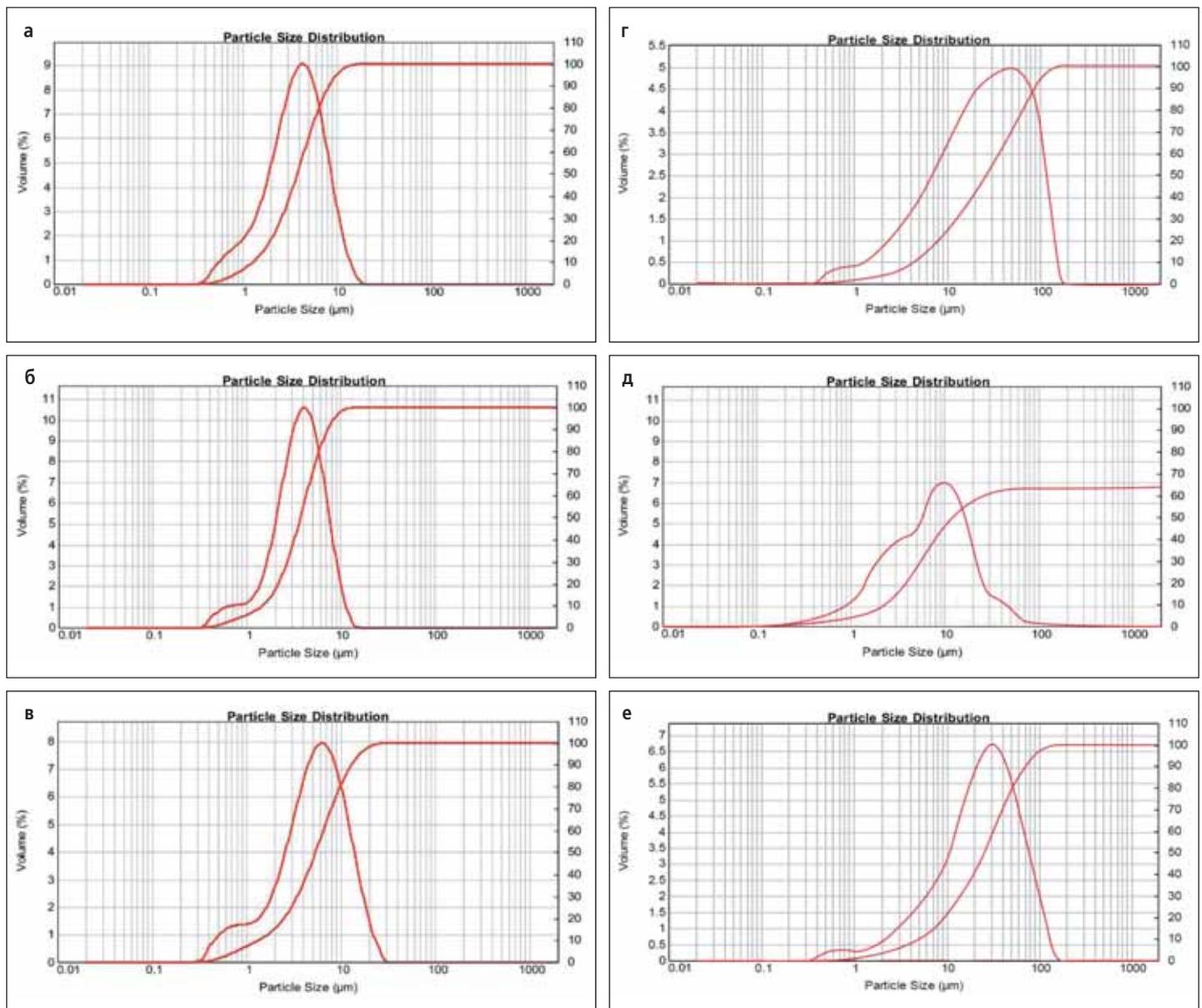


Рис. 1. Гранулометрический состав микроцементов: а – № 1 («Микродур R-X»); б – № 2 (MC-3); в – № 3 (MC-505); г – № 4 (Санкт-Петербург); д – № 5 (г. Старый Оскол), е – № 6 Рядовой портландцемент СЕМ I – 42,5

Для обеспечения качества, стабильности свойств и возможности регулирования свойств микроцементов необходимым условием является использование технологии воздушной сепарации. Применение современных динамических сепараторов позволяет производить широкую гамму микроцементов с заданным уровнем дисперсности за счет варьирования числа оборотов ротора и расхода воздуха [15, 16].

В настоящей работе использованы следующие микроцементы, присутствующие на рынке РФ различных производителей: «Микродур R-X» № 1 (Dyckerhoff GmbH, Германия), МикроБонд MC-3, MC-505 № 2 и № 3 (ООО «Синерго», Россия), микроцемент для реставрационных работ № 4 (Санкт-Петербург, Россия), микроцемент № 5 (г. Старый Оскол).

На рис. 1 и в табл. 1 приведены гранулометрический состав и основные дисперсные характеристики всех исследуемых

Таблица 1

Основные характеристики дисперсности представленных образцов

Номер образца цемента	Характеристика дисперсности, мкм			Содержание частиц $d \leq 5$ мкм, %	Коэффициент пригодности N
	D (0,5)	D (0,85)	D (0,98)		
1	3,9	7,5	12	65,9	26,6
2	3	6,5	10	69,6	30,7
3	5,4	11	19,5	46,2	18,2
4	25,9	88,1	131,7	12,7	2,3
5	9,8	35,6	43,7	23	5,6
6	19,5	96,9	93,7	15,7	2,1

Таблица 2

Физико-механические характеристики цементного камня (В/Ц = 1)

Номер образца	Прочность при сжатии, МПа в возрасте		
	1 сут	7 сут	28 сут
1	1,5	12,2	27
2	8	12	25
3	5,4	10,9	15,2
4	–	1,1	7,8
5	2,1	4	11,3
6	–	1,9	9,1

микроцементов, полученные методом лазерной дифракции на приборе Malvern Mastersizer 2000.

Как следует из приведенных данных, не все представленные продукты можно отнести к классу ОТДВ (особо тонкодисперсных вяжущих).

Образцы № 1 и № 2 очень близки по гранулометрическому составу и практически полностью состоят из зерен меньше 10 мкм.

Образец № 3 отличается наличием зерен более крупных классов (до 20 мкм).

Образец цемента № 4 не обладает достаточной тониной для того, чтобы рассматривать его в качестве микроцемента или вяжущего, применяемого для инъекционного закрепления грунта, он характеризуется достаточно широким гранулометрическим составом, приближающимся к гранулометрии образца № 6.

Образец № 5, по-видимому, изготовлен путем домола рядового ПЦ, что определяет его весьма широкое распределение зерен по классам, наличие нескольких пиков распределения и значительного количества зерен крупнее 30 мкм. При этом он также характеризуется повышенным (в сравнении с образцом № 6) содержанием мелких классов (менее 20 мкм) и в целом более тонким помолом.

Известно, что для определения допустимости использования микроцементов в качестве инъекционных вяжущих применяют коэффициент пригодности N , определяемый по формуле [8]:

$$N = \frac{d_{15}}{d_{\text{мц}85}},$$

где d_{15} – размер частиц грунта, мельче которых в его составе содержится 15 %;
 $d_{\text{мц}85}$ – размер частиц цемента, мельче которых в его составе 85 %.

Для расчета этой величины в качестве примера использованы данные о гранулометрическом составе песчаного грунта из работы [17], согласно которой $d_{15} = 200$ мкм. Результаты расчета приведены в табл. 1. Из этих данных следует, что применение микроцементов № 3 для инъекционного закрепления грунтов требует проведения предварительных полевых испытаний, а цементы № 4, 5, и 6 для этой задачи непригодны [8]. Микроцементы № 1 и № 2 пригодны для инъекционных работ без проведения предварительных испытаний.

Как известно, прочность цементного камня в большей степени зависит от оптимального гранулометрического состава цемента, чем от тонкости его помола (удельной поверхности). При этом в сепарированных цементах снижение среднего размера частиц повышает количество частиц в структуре камня и способствует росту его прочности как в ранние, так и в поздние сроки твердения [18, 19]. При домоле же цемента в мельницах различного типа в продукте измельчения возрастает доля аморфной фазы, которая обладает высокой растворимостью. При высоком В/Ц, что характерно для инъекционных растворов, это отрицательно сказывается на прочности в силу образования малопрочных межчастичных контактов [20, 21]. Вышеизложенное хорошо коррелирует с полученными физико-механическими характеристиками исследованных образцов микроцементов (табл. 2).

Высокая прочность камня на основе сепарированных микроцементов, обогащенных повышенным содержанием сульфатов кальция, обусловлена созданием плотной микроструктуры на основе мелкокристаллического эттрингита и тонкодисперсных гидросиликатов кальция [22].

При закреплении грунтов, кроме прочности, важным моментом является

проникающая способность цементных растворов в структуру массива и кольматация в нем пор, что является залогом высокой несущей способности укрепленного грунта.

Согласно [23], кольматация – это процесс проникновения частиц (дисперсных и растворенных) в поры, трещины и пустоты грунтового массива, физическое и химическое осаждение в нем, что способствует росту его прочности и снижению водопроницаемости.

Используемые при инъектировании цементные растворы являются свободно дисперсными неустойчивыми суспензиями, подверженными седиментации. Именно седиментация препятствует инъекции даже в тех грунтах, пустоты в которых больше размера цементных частиц. Межзерновая область является наиболее напряженным элементом в системе «грунт – инъекционный раствор», т. к. он подвергается деформации при передаче усилий от закачиваемого раствора [24]. Цементный раствор, проходя между частицами грунта, осуществляет на них силовое воздействие и раздвигает их. При этом скорость потока раствора снижается, что способствует седиментации крупных частиц в пустотах грунта. В результате в них формируются перемычки и своды, препятствующие проникновению инъекционного раствора на большую глубину [5]. Это явление свойственно цементным растворам на основе микроцементов, полученных методом домола и содержащих значительную долю крупных частиц. При использовании же сепарированных микроцементов с нормированным зерновым составом, в инъекционных растворах удастся избежать седиментации и, следовательно, образования перемычек и сводов в порах грунта.

Таким образом еще одним простым и удобным способом проверки качества инъекционного тонкодисперсного вяжущего принято рассматривать его седиментационную устойчивость при высоких рабочих В/Ц отношениях (от 1 до 4). При этом данную методику можно охарактеризовать как пригодную для «полевого» использования, в условиях строительной площадки, для экспресс-определения качества инъекционного вяжущего, выбрав к примеру показатель седиментации в течение 60–90 минут при В/Ц равном 2. Для исследуемых микроцементов данные показатели приведены в табл. 3.

Заключение

Из-за большого числа представленных на рынке РФ инъекционных вяжущих зачастую затруднительно определить их применимость для решения

Таблица 3

Показатель водоотделения микроцементных суспензий при В/Ц = 2

Номер образца	Водоотделение, %, при разл. времени от момента затворения, мин		
	5	60	90
1	0	0,9	2,3
2	0	0	1,5
3	0	1,0	2,4
4	8,3	22,8	41,9
5	2,5	12,9	23,3
6	8,1	24,6	41,1

конкретной проектной задачи. Для объективной и оперативной оценки пригодности и качества микроцементов предлагается использовать критерий пригодности (Nпр), а также показатель седиментационной устойчивости при высоких В/Ц.

Высоким технологическим требованиям к микроцементам для закрепления грунтов отвечают вяжущие, изготовленные путем тонкого помола с последующей сепарацией, с нормированным зерновым составом. Применение таких микроцементов обеспечивает достижение сплошности грунтового массива с заданными физико-техническими характеристиками. Наибольшей стабильностью свойств и пригодностью обладают микроцементы МС-3 и МС-505, которые могут служить альтернативой ОТДВ «Микродур R-X».

Ключевые слова

Цементация грунтов, микроцемент, домол цемента, сепарация цемента.

Список литературы

1. Шуплик М. Н. Анализ специальных способов строительства подземных сооружений в городских условиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 1. С. 523–546.
2. Харченко И. Я., Муртазаев С.-А. Ю., Сайдумов М. С., Нахаев М. Р. Составы ОТДВ для инъекционного закрепления грунтов с комплексным наполнителем различного генезиса // Экология и промышленность России. 2015. Е.19. № 3. С. 48–52.
3. Харченко И. Я., Алексеев В. А., Исрафилов К. А., Бетербиев А. С.-Э. Современные технологии цементационного закрепления грунтов // Вестник МГСУ. 2016. Том 12. Выпуск 5. С. 552–558.
4. Ибрагимов М. Н., Семкин В. В., Шапошников А. В. Некоторые проблемы закрепления грунтов растворами из микроцементов // Строительные науки. 2016. № 4. С. 114–120.
5. Камбефор А. Инъекция грунтов. М.: Энергия, 1971. 333 с.
6. Крыжановская О. Г. Закрепление оснований инъекционным раствором // Труды Дальневосточного государственного технического университета. 2005. № 139. С. 203–207.
7. Баженов М. И., Харченко А. И., Харченко И. Я. Технологические особенности применения особо тонкодисперсного вяжущего Микродур в геотехническом строительстве // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 65–67.
8. Богов С. Г., Запелов И. А. Исследование свойств инъекционных растворов на основе цемента для качественного закрепления грунтов // Реконструкция и строительство на слабых грунтах. 2000. № 2.

9. Байдаков О. С. Применение материалов «MIKRODUR» для инъекционных работ при укреплении грунтов и усилении конструкций // Метро и тоннели. 2005. – № 6. С. 34–38.
10. Панченко А. И., Харченко И. Я., Алексеев С. В. Микроцементы. М.: Издательство АСВ, 2014. – 76 с.
11. Головин К. А., Сапронов И. В. Современные методы закрепления неустойчивых горных пород // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 10. С. 152–158.
12. Комарова К. С., Шаратов О. Н. Пути решения проблемы активации цемента // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. С. 2261–2265.
13. Иванова И. С., Пустовгар А. П., Еремин А. В. Особенности процесса гидратации микроцементов // Наука, образование и инновации: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Ч.5 – Уфа, 2015. С. 35–42.
14. Петропавловская В. Б., Новиченкова Т. Б., Белов В. В., Бурьянов А. Ф. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 64–65.
15. Баранов А. Н., Рыбалко Р. И., Сергеев Е. Н., Баранова А. А. Пути повышения эффективности воздушных классификаторов при сухом помоле // Вісник КрНУ. 2011. Випуск 5. С. 75–78.
16. Шаратов Р. Р., Проккопенко В. С., Шаратов Р. Р., Азарков А. М. Моделирование процесса разделения тонкодисперсных материалов в динамических сепараторах // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2015. № 2. С. 84–89.
17. Макеева Т. Г. Структура, морфологические особенности и свойства грунтовых композитных материалов на основе цемента разного состава // Грунтоведение. 2015. № 2. С.26–40.
18. Тимашев В. В., Цернес Р. Я. Зависимость прочности сепарированных

цементов от их дисперсности // Цемент. 1972. № 2. С. 1516.

19. Рахимова Н. Р., Рахимов Р. З. Влияние дисперсности и гранулометрического состава молотых шлаков на свойства шлакощелочных вяжущих // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2008. – № 11. – С. 16–18.
20. Умралиев Б. Т. Теоретические предпосылки применения дезинтеграторной технологии получения специальных цементов // Вестник КазНТУ. 2007. № 6. С. 109–112.
21. Кулик В. В., Салей А. А., Белый А. Я., Стрельченко И. С., Пота В. В. Влияние зернового состава цемента на процессы твердения бетона // Вопросы химии и химической технологии. 2003. № 1. С. 47–51.
22. Самченко С. В., Зорин Д. А., Борисенкова И. В. Структура и свойства расширяющихся цементов в зависимости от дисперсности глиноземистого шлага и сульфаталюминатного клинкера // Технология бетонов. 2012. № 11–12. С. 28–29.
23. Федосов С. В., Румянцева В. Е., Коновалова В. Е., Евсяков А. С. Кольматация: явление, теория, перспективы применения для управления процессами коррозии бетона // Строительные материалы. 2017. № 10. С. 10–17.
24. Сидоренко Ю. В. Механизм формирования перемычки между структурными элементами на мезоуровне силикатной системы // Успехи современного естествознания. 2007. № 4. С. 45–48.

Для связи с авторами

Нефедьев Алексей Павлович
 nar@metakaolin.ru
 Нефедьева Анастасия Константиновна
 info@metakaolin.ru
 Баженова Софья Ильдаровна
 Sofia.bazhenova@gmail.com



РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ АКТИВНОГО ПРИГРУЗА ЗАБОЯ ТПМК В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

CALCULATING THE ACTIVE BALANCE PRESSURE OF TBM IN DENSE URBAN DEVELOPMENT

Д. С. Конюхов, А. Г. Полянкин, О. С. Федянин, А. М. Потокина, АО «Мосинжпроект»

D. S. Koniukhov, A. G. Polyankin, O. S. Fedianin, A. M. Potokina, JSC Mosinzhpriekt

Проведено сравнение реальных давлений пригруза в призабойной камере щита с результатами проверочных расчетов по методике СП 120.13330.2012. и с расчетными проектными значениями по методике СТО НОСТРОЙ. На конкретном примере отмечено, что проектное давление в призабойной камере щита не набирает достаточной величины для компенсации давления от толщи грунта.

A comparison of real balance pressures in the shield excavation chamber was made with the test calculations results on the SP 120.13330.2012 method and with calculated project values according to the STO NOSTROY methodology. In a particular example, it is noted that the project pressure in the shield excavation chamber does not gain enough size to compensate for the pressure from the thickness of the ground.

При проектировании тоннелей в условиях плотной городской застройки необходимо учитывать, что помимо основного давления на забой, формирующегося от веса слоев грунта над тоннелем и внешнего давления подземных вод, на проектируемое давление в призабойной камере при передвижке щита также влияют находящиеся на земной поверхности здания и сооружения [1].

Поддерживать данное расчетное давление пригруза забоя [2] также необходимо для уменьшения осадок на поверхности земли и количества нештатных ситуаций, приводящих к сокращению сроков эксплуатации расположенных над тоннелем строений.

Целью данной статьи является выявление отклонений результатов расчетной методики по проекту от реального рабочего давления в призабойной камере ТПМК и сравнение с результатами предлагаемой методики расчета.

Материалы и методы

Объект исследования – материалы ежедневных отчетов о передвижках щитового комплекса с данными о давлении грунта в призабойной камере на уровне шельги, а также расчетные данные, взятые из проектной документации. Были обработаны данные за девять месяцев (2016–2017гг.) проходки левого перегонного тоннеля от с/пл. № 5.2 до ст. «Лефортово» Северо-Восточного участка ТПК Московского метрополитена. Проведен анализ расчетного давления на забой и давления пригруза в шельге забоя ТПМК. Расчетные данные сформированы в виде отчетной научно-технической проектной документации, в которой проведены расчеты пригруза по методике СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011 [3].

Проектная методика позволяет предотвратить вывал грунта, расчет ведется по 1-й группе предельных состояний, т. е. на прочность и устойчивость без учета деформаций. В расчетах принимается давление пригруза на уровне шельги сечения, образующегося в результате работы ротора щита. Величину верти-

кального давления грунта на уровнях выше шельги свода определяют, принимая вертикальное давление от вышележащих грунтов с учетом эффекта «зависания» давящих грунтов над тоннелем [4]. Величина горизонтального давления отличается от вертикального давления на коэффициент горизонтального давления, величина которого разнится в зависимости от выбираемой модели массива.

Данные отчетов передвижки ТПМК с данными активного пригруза забоя сформированы в виде распечаток из архива программного обеспечения щитового комплекса, с указанием номера кольца и давления грунта на датчике в шельге свода.

Проверочные расчеты выполняются по методике СП 120.13330.2012 «Метрополитены», которая позволяет спрогнозировать давление грунта в точке, исходя из возможного сводообразования и нагрузок от зданий и сооружений, находящихся на поверхности.

Результаты и их анализ

Для упрощения проведения расчетов была разработана специальная программа на языке программирования VBA с использованием ПО Microsoft Excel.

В данной программе имеется таблица, куда заносятся все необходимые данные и параметры грунтов.

На этапе ввода данных требуется ввести характеристики грунтов для каждого слоя (слои формируются от поверхности земли): 1 – номер или обозначение грунта из геологической колонки; 2 – тип; 3 – толщина слоя (м); 4 – удельный вес грунта (кН/м³); 5 – угол внутреннего трения (град.); 6 – коэффициент пористости (доля); 7 – удельное сцепление (МПа); 8 – диаметр тоннеля (м); 9 – данные дополнительных нагрузок от сооружений на поверхности (кН).

Программа рассчитывает данные пригруза в шельге свода, в лотке и в 1/3 диаметра тоннеля от лотка.

В соответствии с типом грунта программа выбирает расчетную модель и ведет расчет по упругопластическому или жесткопластическому состоянию.

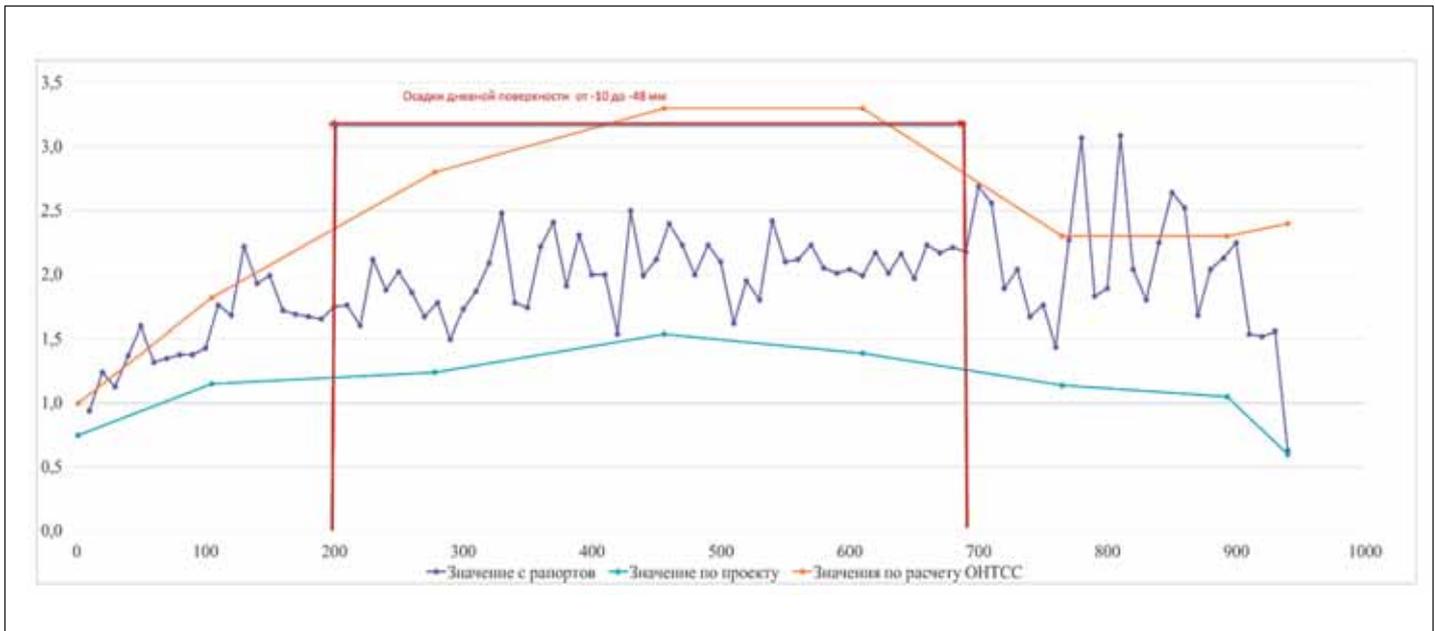


Рис. 1. Давления пригруза (бар) от номера кольца

В расчете добавлено условие высоты столба грунтовых вод.

В процессе выполнения этого условия для водонасыщенных грунтов, находящихся над забоем, задают плотность, исходя из взвешивающего действия воды и коэффициента пористости грунтов.

Также учитываются дополнительные нагрузки от сооружений на земной поверхности.

В случае устойчивых грунтов задано условие, по которому если толщина устойчивых слоев в два раза превышает высоту свода, рассчитываемого по СП 120.13330.2012 [5], то нагрузки рассчитываются с учетом высоты свода.

Нагрузки от зданий на земной поверхности берутся исходя из требований СП 120.13330.2012 – по 10 кН на каждый этаж здания.

Данные по характеристикам грунта вводятся по 2-й группе предельных состояний исходя из СП 22.13330.2016 [6] с наибольшей доверительной вероятностью, т. к. расчет ведется с учетом деформаций.

Расчет давления пригруза в призабойной камере щита выполняется, исходя из условий и требований СП 120.13330.2012 [5]. Во избежание подъема земной поверхности перед щитом от избыточного давления пригруза, рассчитывается давление выпора грунта, которое складывается из веса грунта и двукратной силы сцепления вышележащих слоев грунта. Результаты расчетов учитывают коэффициент надежности, для давления пригруза – это 1,2 (в сторону увеличения нагрузки на забой), а для давления выпора грунта – 0,8 (для уменьшения критического давления в призабойной камере). Общий коэффициент запаса для каждого расчетного значения составляет 20 %.

В процессе обработки массивов данных были составлены три графика с проектными рас-

четными значениями, данными давлений пригруза ТПМК и результатами проведенного проверочного расчетно-аналитического анализа на всех пикетах скважин в проекте (рис. 1).

Самый верхний график отображает наши проверочные расчеты, проведенные согласно требованиям СП 120.13330.2012 [5]. Средний – реальные давления пригруза, замеренные в призабойной камере щита. И нижний – расчетные проектные значения по СТО НОСТРОЙ [3]. По оси X введены номера колец обделки ТПМК, устанавливаемых на момент измерений, по оси Y – значения давлений в призабойной камере щита.

Следует учитывать, что в призабойной камере могут образовываться воздушные полости, из-за чего давление на датчике может быть меньше реального давления грунтопригруза. Исходя из этого, проводится отбраковка данного значения и замена его на экстраполированное значение по остальным четырем датчикам ТПМК, находящихся на разной высоте.

График по протяженности можно условно разбить на три части, исходя из данных геотехнического мониторинга осадок земной поверхности. Среднее значение осадок в начале графика 16 мм, в середине – 29 мм и в конце – 8 мм. Самые большие осадки поверхности наблюдаются под инженерными коммуникациями, расположенными в зоне работы ТПМК. Максимальное значение на деформационных марках здесь составляет 24,7 мм для канализации и 48 мм для коллектора.

Выводы

1. Расчет по СП 120.13330.2012 «Метрополитены» наиболее достоверно отражает необходимые давления пригруза забоя ТПМК исходя из минимальных осадок земной поверхности.

2. При проходке под зданиями и сооружениями необходимо учитывать наличие нагрузки от их веса.

Ключевые слова

ТПМК, ТВМ, давление пригруза, результаты проверочных расчетов.

Balance pressure, test calculations results.

Список литературы

1. Мазин С. В., Вознесенский А. С. Влияние нагрузок от щита на вертикальную деформацию здания на поверхности вдоль трассы тоннеля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 11. – С. 155–164.
2. Мазин С. В., Потапов М. А. Пенотрунтовая компенсация давления в забое тоннелепроходческого щита, ее контроль и прогноз // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 4. – С. 12–16.
3. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011 Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки.
4. Абрамчук К. В., Шишко В. Ф., Вьюхин В. Л. ТПМК «Ловат» на строительстве метро в Челябинске. Проходка тоннеля под железнодорожными путями с применением грунтопригруза // Метро и тоннели. – 2007. – № 2. – С. 20–22.
5. СП 120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с Изменениями N 1, 2).
6. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* (с Изменениями N 1, 2).

Для связи с авторами

Конюхов Дмитрий Сергеевич
gidrotehnik@inbox.ru
Полянкин Александр Геннадьевич
Poliankin.AG@mosinzhproekt.ru
Федянин Олег Сергеевич
Fedianin.OS@mosinzhproekt.ru
Потокина Анна Михайловна
Potokina.AM@mosinzhproekt.ru



РЕМОНТ ВОДОВОДА ДЕЛАВЭР

ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПРОХОДКИ. БУРЕНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТБМ В СКАЛЬНЫХ ПОРОДАХ С ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ ВОДЫ И ВЫСОКИМ ВОДОПРИТОКОМ НА ПРОЕКТЕ ПОД РЕКОЙ ГУДЗОН В НЬЮ-ЙОРКЕ

DELAWARE AQUEDUCT REPAIR

ADVANCEMENTS IN MECHANIZED EXCAVATION – A TBM BORING IN HARD ROCK AGAINST HIGH WATER PRESSURE AND HIGH WATER INFLOWS BENEATH THE HUDSON RIVER IN NEW YORK

Дэвид Тербович, Мартино Скальпи и Тайлер Санделл, компания «Роббинс»

David Terbovic, Martino Scialpi and Tyler Sandell, The Robbins Company

Однощитовая скальная ТБМ (тоннельная буровая машина) готовится к проходке в штате Нью-Йорк, где она будет сталкиваться с притоком воды в большом объеме и давлением до 20 бар. Чтобы преодолеть эти сложные условия, разработана ТБМ для контроля водопритока в размере 9500 л/мин и с уплотнениями на давление 30 бар (20 бар с коэффициентом безопасности 1,5). ТБМ будет вести проходку тоннеля, который заменит часть водовода Делавэр, поставляющим половину сырой воды в Нью-Йорк. Обходной тоннель протяженностью 4 км проходит под рекой Гудзон в сланцах и известняках. Из-за высокого давления водопритока ТБМ была разработана с новой системой уплотнений главного подшипника и с выдвигаемым кольцом, которое уплотняет переборку, чтобы закрыть ТБМ. Машина оснащена двумя системами водоотлива и несколькими системами опережающего бурения и цементации, чтобы гарантировать, что ТБМ сможет облегчить экстремальные условия. Эта статья охватывает аспекты уникального проекта и конструкции ТБМ.

A single shield hard rock TBM is set to bore in New York State where it will encounter water inflows with high volume and pressures up to 20 bar. To overcome these difficult conditions, the TBM is designed to control 2500 gpm (9500 l/min) water inflows and seal against 30 bar (20 bar with a 1.5 safety factor). The TBM will bore a tunnel to replace part of the Delaware Aqueduct, which supplies half the raw water to New York City. The 2.5 mi (4 km) bypass tunnel passes beneath the Hudson River in shale and limestone. Due to the high water pressure and inflows the TBM was designed with a new main bearing sealing system and retractable muck ring that seals against the bulkhead to close off the TBM. The machine is equipped with two dewatering systems, and multiple drilling and grouting schemes to ensure that the TBM can mitigate extreme conditions. This paper will cover the unique aspects of the project and TBM design.

Водовод Делавэр доставляет около 1,9 млрд л в день, обеспечивая примерно 50 % потребности Нью-Йорка в питьевой воде. Строительство этого важного объекта инфраструктуры Нью-Йорка началось в 1939 г. и завершилось в 1944 г., когда был запущен водовод длиной 85 миль.

В течение более 25 лет Департаментом охраны окружающей среды Нью-Йорка (DEP) наблюдались утечки в той части водовода, которая соединяет водохранилище Западного ответвления с тоннелем Западного ответвления, где сейчас будет проводиться ремонт водовода Делавэр. Обнаружено, что около 132 млн л воды в день стекают выше в реку Гудзон. Хотя это не являлось критической величиной утечки по сравнению с общим расходом, характер утечек и их местонахождение были причиной для беспокойства. В 2009 г. DEP (владелец тоннеля) решил предпринять действия, чтобы начать процесс исследования и проектирования.

Исследование, проведенное в 2014 г. по ремонту водовода Делавэр с использованием камер с дистанционным управлением, подтвердило, что трещины в обделке тоннеля, обнаруженные в ходе обследований, в течение 2003–2009 гг. продолжали расти и стали неремонтопригодными внутри тоннеля. Было принято решение построить новый тоннель под рекой, чтобы обойти самые серьезные утечки. Однако сначала должны были быть построены глубокие стволы в городах Ньюбург и Ваппингер (штат Нью-Йорк), где обход начнется и закончится.

Целью строительства стволов является двойная задача, которая не только обеспечивает доступ для запуска и извлечения тоннельного оборудования, но также создает пространство для того, чтобы подключиться к существующему водоводу. После постройки стволов с использованием традиционных методов,

тоннель будет пройден механизированным способом с использованием тоннельной буровой машины (ТБМ) однощитовой конструкции. Когда новый тоннель будет пройден, водовод будет закрыт и обезвожен, чтобы облегчить ремонт утечек и создать соединения с существующим тоннелем.

Инфографика на рис. 1 показывает общую информацию о проекте и его местоположение.

Обходной тоннель

Ремонт водовода Делавэр был разделен на два контракта:

- ВТ-1: строительство стволов 5В (Ньюбург), где будет запущен ТБМ, и 6В (Ваппингер), где будет извлечен ТБМ. Ствол 5В будет основой для тоннельных операций, где будет опускаться ТБМ и происходить удаление породы с помощью массивной рамной лебедки.

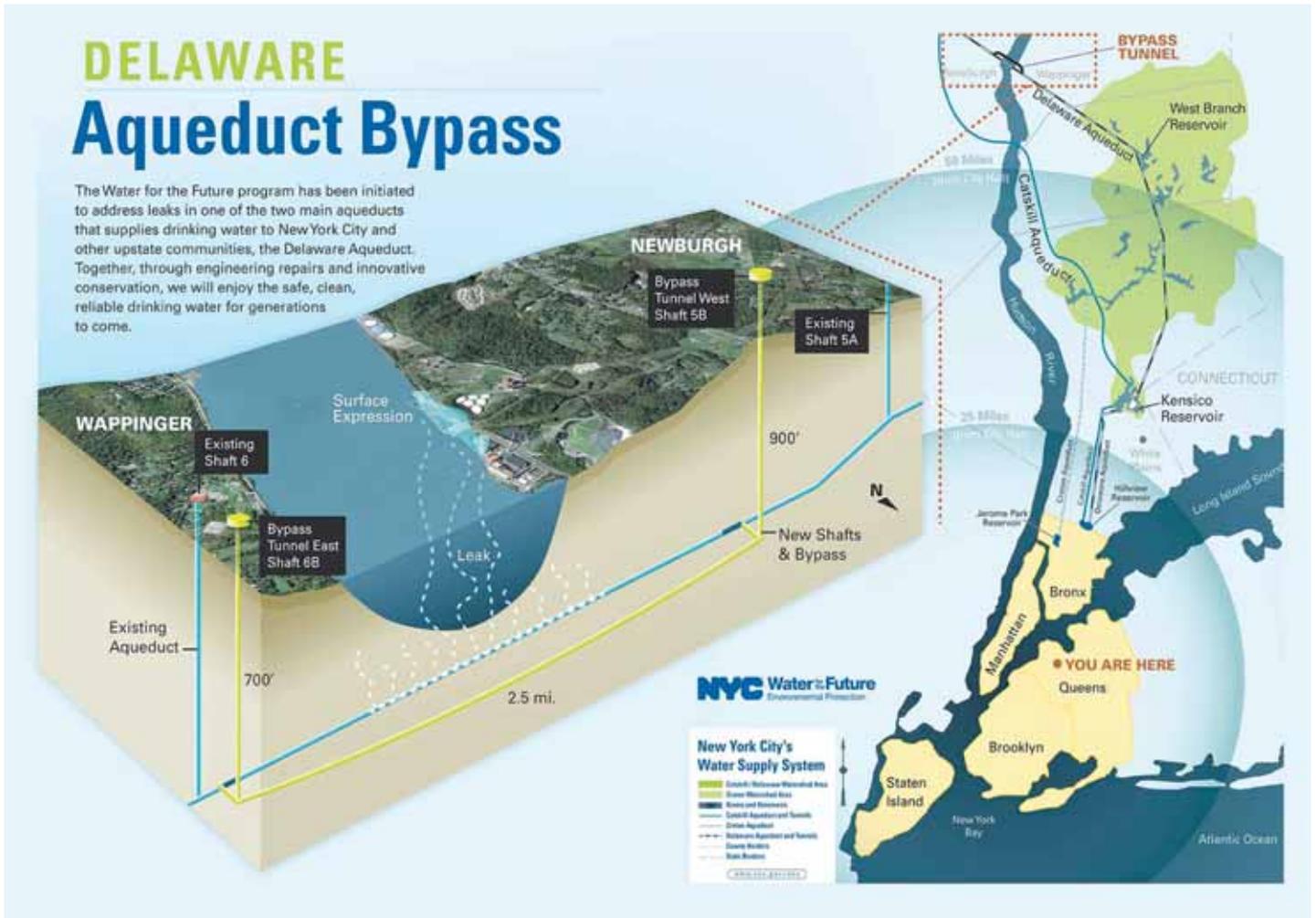


Рис. 1. Инфографика обхода водовода Делавэр

• ВТ-2: проходка тоннеля и возведение обделки с использованием ТБМ, а также обычные горные выработки для соединения с водоводом Делавэр.

Расположение стволов 5В и 6В показано на рис. 2.

Строительство ствола 5В диаметром 8,5 м и глубиной 274 м было завершено в конце 2016 г. На поверхности ствол окружен достаточным пространством для размещения ТБМ, хранения сегментов, обработки породы, обработки воды, производства бетона и проведения других различных работ, необходимых для поддержки проходки. На его базе находится стартовая камера длиной 90 м для сборки и запуска ТБМ.

По состоянию на начало 2017 г. ТБМ и защитной комплекс были собраны, и началось тестирование на заводе компании «Роббинс» в Солоне, штат Огайо, США. Официальные заводские приемочные испытания (FAT) под надзором СП Kiewit Shea (KSJV) и DEP начались 1 февраля и продлились две недели.

Тоннель протяженностью 3800 м пробурят с уклоном вниз с постоянным, но минимальным уклоном 1,5 м по всей его длине. Предварительно отлитая сборная железобетонная сегментная обделка будет затем устанавливаться посредством

ТБМ диаметром 6,5 м. В кольцевое пространство между диаметром бурения и наружным диаметром сегментов закачают цементный раствор для поддержки и герметизации обделки. Как только ТБМ завершит свою проходку, она будет демонтирована и удалена через ствол 6В глубиной 213 м на восточном конце обходного тоннеля. Дополнительный сталь-

ной сегментный промежуточный слой обделки установят для дальнейшего укрепления тоннеля в областях слабых горных пород, которые составляют приблизительно 9200 футов (2800 м) проекта. Конечная обделка всего обходного тоннеля, стартовой камеры и соединительных выработок будет выполнена из монолитного бетона (CIP).

Рис. 2. Расположение стволов на проекте ремонта и обхода водовода Делавэр



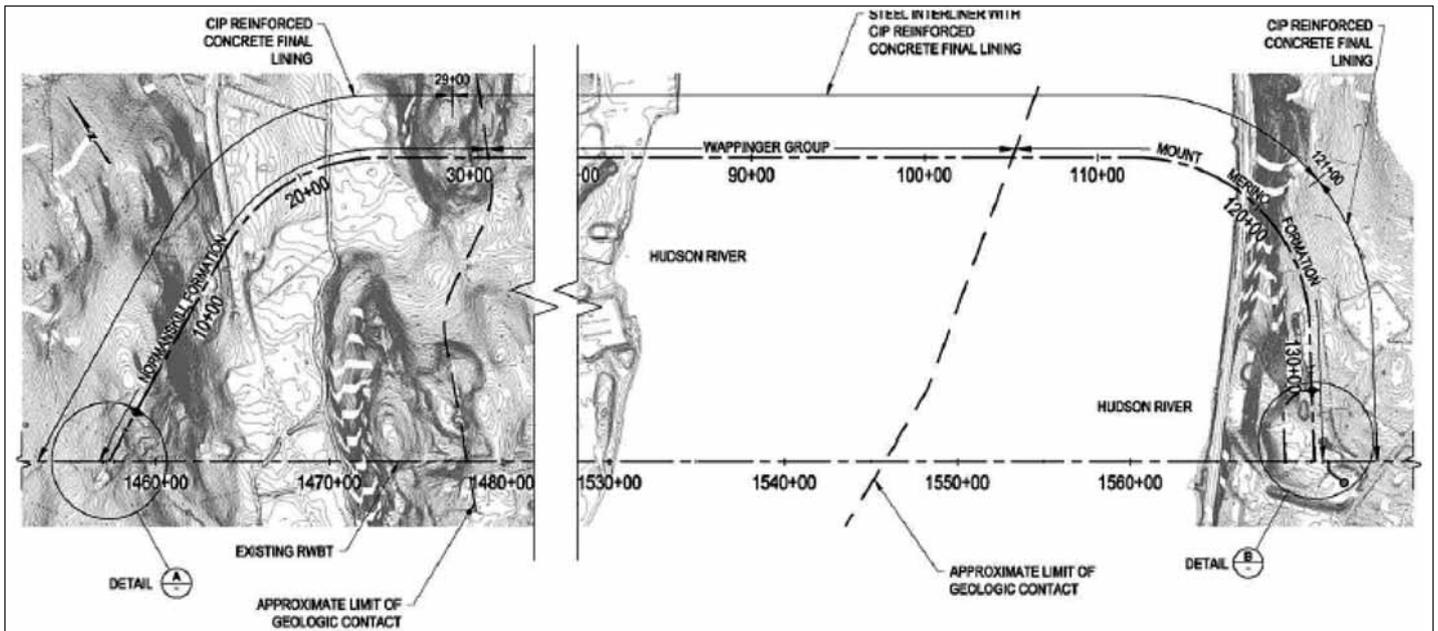


Рис. 3. Обходной тоннель в деталях

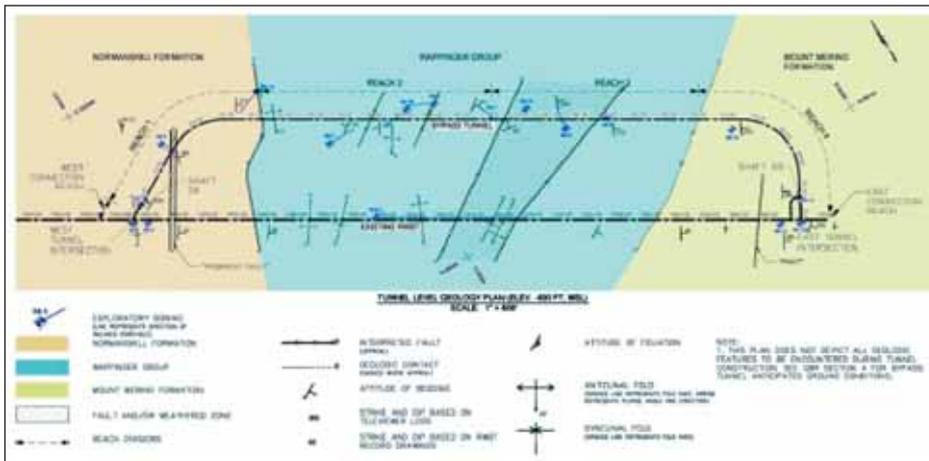


Рис. 4. План геологии горизонта туннеля

Таблица 1

Общая спецификация и особенности однощитовой ТБМ Robbins

Диаметр бурения 21' 7" (6,583 мм)
Скорость вращения режущей головки 0–8,8 об/мин
Конструкция режущей головки на болтовом соединении
9×330 кВт частотно регулируемые электромоторы
Дисковые шарошки 19" с компенсацией давления
Герметизируемая конструкция ТБМ – 30 бар
Башмаки стабилизаторов на переднем щите
Башмаки распоров на заднем щите
Поворотное кольцо для коррекции от проворачивания
Система водоотлива с большой производительностью
Откатка породы составом с вагонами
Система быстрой разгрузки сегментных блоков
Ступенчатая конструкция щитов
Конструкция режущей головки на болтовом соединении – нет сварочных работ на площадке
Порты для опережающего бурения в режущей головке и переднем щите
Отдельные порты водоотлива для отвода воды из головной части
Отделение воды на выходе из конвейера

Стальные внутренние закладываемые трубы и места монолитного бетона CIP показаны на рис. 3.

Проблемы проекта: геология, давление и приток воды

На протяжении проходки будут встречаться различные геологические формации. Группа Wappinger, состоящая в основном из доломита, доломитового известняка и известняка, составляет большую часть проекта. Начало и конец разработок будут в формациях Normanskill и Mount Merino, соответственно, которые состоят из сланца, аргиллита и песчаника. В соответствии с исследованиями в проекте будут некоторые области чрезвычайно твердых пород со значениями прочности UCS, достигающими 372 МПа, но средние значения в пласте Wappinger имеют более приемлемые значения 241 МПа с показателями экскавации от низкого до среднего. Выбор типа и конфигурации ТБМ находился под сильным влиянием этих ожидаемых условий пород, а также возможности измельчения, расслоения, агрегации и сжатия грунта при больших притоках воды.

На рис. 4 показано расположение туннеля, наложенного на изображение геологических формаций.

Река Гудзон имеет ширину 1052 м, в том месте, где она пересекает трассу обходного туннеля, который находится на расстоянии 183 м ниже. Напор подземных вод вдоль остальной части туннеля колеблется от 267 м на западе до 213 м на восточной стороне. Ожидается, что наиболее сложными условиями при проходке будут высокая проницаемость пласта Wappinger с зонами разломов в пласте Normanskill в сочетании с условиями высокого напора.

Согласно тендерной документации DEP, выбранный подрядчик имел возможность пройти туннель либо с помощью ТБМ, ли-

бо с помощью буровзрывных работ. Благодаря разработке модели грунтовых вод для прогнозирования притока, KSJV определила, что механизированная проходка будет наиболее экономичным и безопасным решением для контроля грунтовых вод по сравнению с методикой многоступенчатой выемки грунта буровзрывным способом.

Тем не менее, даже вариант проходки с применением ТБМ сопряжен с проблемой ожидаемого притока до 4920 л/мин в пласте Wappinger. Сегментная обделка с уплотнением, устанавливаемая за ТБМ, поможет минимизировать приток воды, но для того, чтобы справиться с этими потенциальными притоками, DEP предписал осуществлять опережающее бурение и интенсивную цементацию перед проходкой. Эти методы были введены в качестве требований и предназначены для снижения потенциала притока подземных вод в горную массу, а не для повышения ее прочности или повышения устойчивости.

Трудности контроля над водой усугубляются тем фактом, что тоннель необходимо бурить под уклон, и грунтовые воды необходимо будет перекачивать к стволу 5В и затем на поверхность более чем на 267 м выше.

Решение этих геологических задач в сочетании с высоким давлением воды (более 20 бар) требует, чтобы ТБМ была разработана со многими специальными функциями для бурения, опережающей цементации и водопонижения.

Конструкция ТБМ

Общая спецификация ТБМ

NYDEP и Kiewit/Shea активно участвовали в разработке и проектировании ТБМ. Этот подход имеет решающее значение для обеспечения наилучших шансов на успех проекта.

Спецификации и особенности одношпильной ТБМ Robbins перечислены в табл. 1, а общая схема ТБМ показана на рис. 5.

Специальные особенности ТБМ

В дополнение к строгим предписаниям DEP, KSJV хотел еще больше оптимизировать эффективность тоннелепроходческой системы для работы с потоками воды, разбавленными породой, с помощью систем опережающего бурения, цементации и водоотлива. Режущая головка была разработана для предотвращения закупоривания в сланцах, и приоритет отдала герметизации ТБМ от воды под высоким давлением / высоким водопритоком со стороны забоя.

DEP потребовал, чтобы ТБМ была способна выдерживать 30 бар гидростатического давления (20 бар с коэффициентом безопасности 1,5). Таким образом, стало необходимым применение дисковых шарошек с компенсацией давления. Их уникальная конструкция включает в себя систему выравнивания давления для удержи-

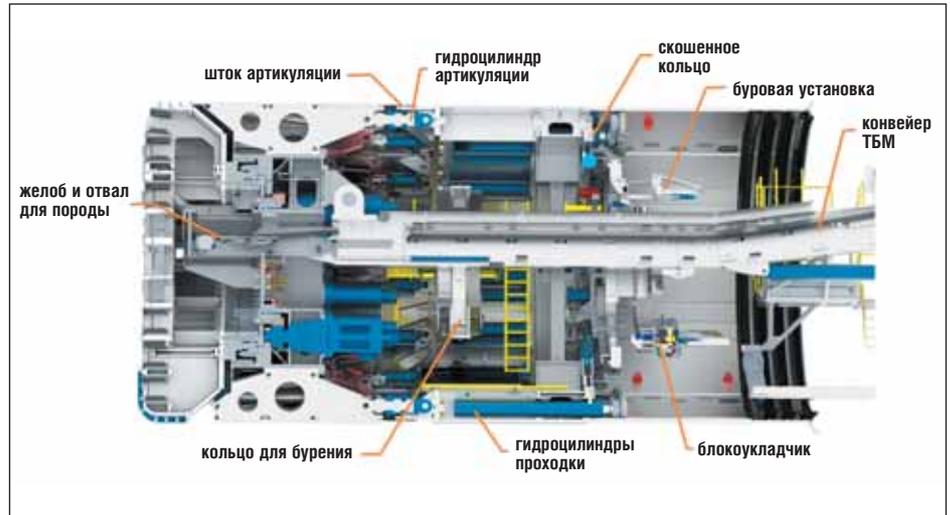


Рис. 5. Общая компоновка ТБМ

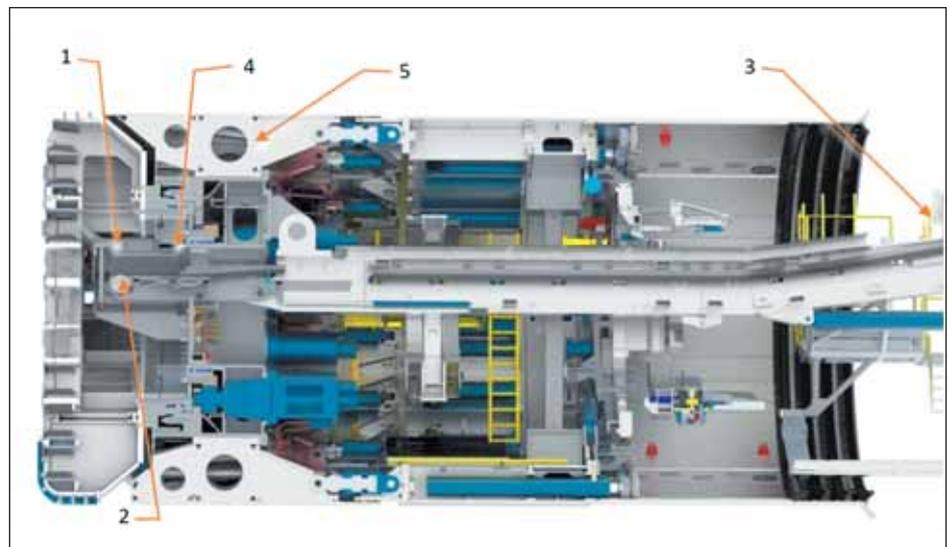


Рис. 6. Последовательность герметизации ТБМ

вания напора воды и защищает подшипники при высоком давлении.

Особенности конструкции для условий высокого давления воды

Из-за ожидаемого статического давления воды 20 бар для проекта была разработана новая система уплотнения главного подшипника, состоящая из нескольких рядов традиционных манжетных уплотнений и аварийных надувных уплотнений. Надувные уплотнения не находятся в рабочем контакте с движущимися частями уплотнительной системы во время бурения, но могут быть активированы как «стояночный тормоз», когда это необходимо для дополнительной защиты главного подшипника ТБМ. Уплотнения промываются и смазываются консистентной смазкой для защиты от воздействия воды, загрязненной мелкими частицами, которая ожидается на проекте.

Особенности конструкции для условий сильного водопритока

ТБМ была спроектирована так, чтобы её можно было быстро герметизировать для защиты самой машины и персонала от вне-

запных попаданий воды. Шаги, перечисленные ниже, необходимы для герметизации ТБМ во время больших притоков и показаны на рис. 6:

- закрыть створки над породоприемным кольцом (1);
- втянуть раму конвейера (2);
- оттянуть ленту из рабочей камеры (3);
- втянуть герметизирующую пластину переборки (4);
- закрыть створки стабилизатора (5).

Из-за притока воды, измеренного во время геотехнических исследований, в контракте указаны очень высокие требования к возможности отвода воды. Чтобы достичь этого, водоотлив контролируется двумя отдельными системами, которые могут работать независимо или совместно.

Первичный водоотлив – 3000 л/мин во время бурения без каких-либо воздействий на сам процесс бурения или монтаж сегментного кольца.

Аварийный водоотлив – 9500 л/мин, аварийная система для отвода воды из передней части машины и технологической воды.

Система первичного водоотлива может собирать воду из камеры режущей головки,

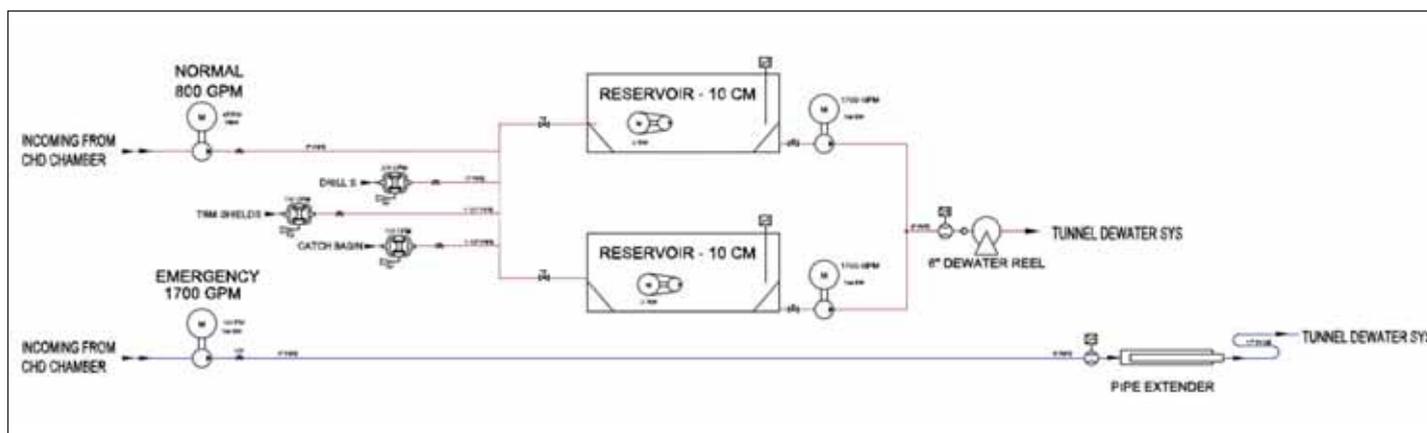


Рис. 7. Диаграмма линий системы водоотлива

области щитов/колец и точки перевалки грунта между машинным конвейером и транспортным конвейером. Система предназначена для передачи мелких частиц размером до 7 мм через трубопровод, резервуары и в систему водоотлива тоннеля. ТБМ оборудована резервуаром для водоотвода объемом 20 м³ благодаря комбинации двух резервуаров емкостью 10 м³. Каждый резервуар оснащен смесительными насосами для предотвращения оседания мелочи и сокращения простоев при техническом обслуживании и очистке.

Система аварийного водоотлива обходит резервуары водоотвода и передает воду непосредственно в систему водоотлива тоннеля. Телескопический удлинитель трубы на защитном комплексе позволяет ТБМ продвигаться

на 6 м перед добавлением еще одной 305 мм секции. На рис. 7 показана общая схема системы водоотлива.

Методика опережающего бурения и цементации

Спецификация проекта требует обязательной программы работ по опережающему бурению, которая включает измерение уровня водопритока в местах расположения пробуренных скважин на протяжении всей трассы тоннеля. ТБМ требуется бурить четыре разведочные скважины каждые 60 м для измерения уровня водопритока. Когда водоприток превышает допустимые значения, указанные в контракте, требуется проведение работ по цементации для снижения притока воды до приемлемого уровня. Затем

ТБМ может продвигаться сквозь зацементированную область трассы тоннеля. ТБМ оснащена двумя типами цементационных систем. Опережающая система цементации (PEG) – это однокомпонентная система, используемая для нагнетания перед ТБМ. Двухкомпонентная (A + B) система нагнетания используется для заполнения кольцевого зазора между сегментной обделкой и пробуренным тоннелем.

Система опережающего бурения

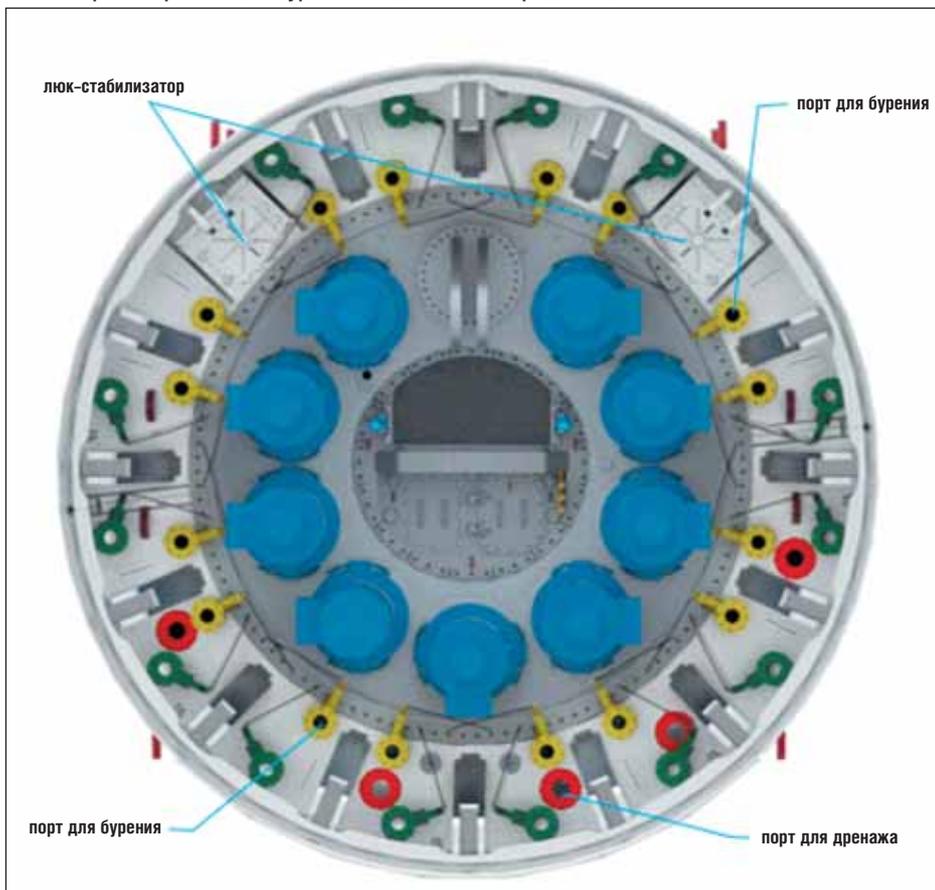
ТБМ оснащена двумя буровыми установками для опережающего бурения и цементации. Передняя буровая установка используется для операций бурения через забойную часть тоннеля под углами от 0 до 5 градусов, измеренных относительно трассы тоннеля. Буровая установка состоит из двух независимых буровых манипуляторов, установленных на неподвижном кольце, которое может позиционировать каждый буровой станок на 360 градусов радиально для бурения и нагнетания через 16 портов в буровой головке. Эта система является основной системой бурения и цементации, используемой на ТБМ, и будет применяться для опережающего бурения и цементации вдоль всей трассы тоннеля.

Задняя буровая установка представляет собой одиночный буровой станок, постоянно прикрепленный к блокоукладчику. Блокоукладчик используется для позиционирования станка для операций бурения и цементации через 14 периферийных портов в щите. Порты расположены под углом 7 градусов к трассе тоннеля и используются для бурения зонтов и цементации, образуя цементный занавес для отсечения водопритоков, окружающих трассу тоннеля.

Буровые станки, выбранные подрядчиком, представляют собой погружные гидравлические молоты, изготовленные компанией «Вассара». Гидромолот идеально подходит для этого проекта по следующим причинам:

- погружное бурение скважин уменьшает размеры бурового оборудования внутри ТБМ;
- вода, используемая для приведения в действие молота, также обеспечивает промывку шлама;

Рис. 8. Порты опережающего бурения и водоотлива в переднем щите



- бурятся более длинные и прямые скважины по сравнению с буровыми станками ударно-вращательного типа;

- вода, используемая для приведения в действие молота, не разрушает скважину;

- установки для отбора керна относительно короткие и компактные, что делает их более приспособленными для размещения внутри ТБМ;

- буровые штанги API используются в буровой колонне для бурения с водой под высоким давлением.

Буровые испытания, проведенные с помощью гидравлических молотов около рабочей площадки, подтвердили производительность и пригодность их применения для проекта.

Мостовая площадка ТБМ была также спроектирована для обеспечения радиального бурения с переносной буровой платформой для проверки тампонажного нагнетания. Порты в переднем щите для бурения/цементации и водоотлива показаны на рис. 8.

Система цементации

ТБМ оснащена двумя установками PEG для смешивания и опережающего нагнетания с целью цементации перед ТБМ. Кроме того, система PEG может быть использована для вторичного нагнетания вокруг сегментной обделки для противодействия высокому давлению воды, а также для смешивания и впрыскивания бентонита вокруг щитов ТБМ для уменьшения трения в условиях обжатию грунтами.

Растворы двухкомпонентной системы нагнетания А + В производятся на растворосмесительном заводе, смонтированном на поверхности и перекачиваются непосредственно на ТБМ. Емкости для хранения компонентов А + В на защитном комплексе ТБМ оснащены датчиками уровня, которые запускают и останавливают насосы на растворосмесительном заводе, установленном на поверхности, и находящемся в ведении подрядчика. Это обеспечивает наличие цементного раствора, когда он необходим для нагнетания на ТБМ.

Из-за высокого статического давления воды подрядчик требовал, чтобы ТБМ имела возможность нагнетать тампонажный раствор через свою хвостовую часть, а не через сегментную обделку, чтобы повысить безопасность работников. В предыдущих проектах заглушки в сегментах для нагнетания тампонажного раствора были выбиты с высокой скоростью, что ставит под угрозу безопасность работников. Тампонажное нагнетание через хвостовую часть уменьшает проникновение раствора через сегментную обделку и повышает безопасность, устраняя эти проникновения.

Обновление проекта и сложности при сборке ТБМ

На стройплощадке проекта было несколько проблем со сборкой и запуском ТБМ. Из-за ограниченного пространства в



Рис. 9. ТБМ во время сборки

стартовом стволе операция опускания сборочных узлов ТБМ была тщательно спланирована, чтобы совпасть с последовательностью сборки. ТБМ будет собираться на дне вертикального ствола глубиной 275 м. Чтобы облегчить сборку и запуск, веса и схемы подъема/опускания основных компонентов ТБМ были тщательно скоординированы с подрядчиком, что все будет работать в условиях ограниченной рабочей площадки. Грузоподъемный кран компании KSVJ имеет максимальную грузоподъемность 90 т. Компоненты ТБМ были спроектированы и рассчитаны таким образом, чтобы все подъемы весили менее 90 метрических тонн и подходили к ограниченному проему ствола, указанному подрядчиком. ТБМ будет установлена на подвижном ложе в нижней части ствола и сможет перемещаться через монтажную камеру длиной 91 м.

ТБМ в настоящее время собирается на заводе компании «Роббинс» в Солоне, штат Огайо. FAT запланирован на начало февраля, после чего поздней весной – сборка на стройплощадке, проходка – летом 2017 г. (рис. 9).

Заключение

Многие проблемы, связанные с ремонтом водовода Делавэр, требуют применения инновационных решений. Разнообразная и сложная геология в сочетании со значительным притоком воды потребовали, чтобы у ТБМ были уникальные и специализированные особенности, которые раньше не встречались на однощитовых скальных ТБМ. Высокое давление воды требует, чтобы у ТБМ было много конструктивных особенностей, которые обычно типичны для ТБМ с компенсацией

горного давления. Для преодоления ожидаемых проблем были установлены высокопроизводительные системы опережающего бурения, цементации и водоотлива. Инновационные системы герметизации разработаны и интегрированы таким образом, чтобы ТБМ могла бурить в атмосферных условиях, но при этом имела возможность быстро герметизироваться, чтобы выдерживать давление воды 30 бар для защиты рабочих и оборудования. Достижения в проектировании ТБМ, разработанные для ремонта водовода Делавэр, показывают, что технология механизированной проходки продолжает развиваться и позволяет открытым скальным ТБМ решать более сложные геологические задачи, чем когда-либо прежде.

Список литературы

1. Dowe, T., Sozer, Z., and Brion, P. 2015. *Bypass Tunnel: Bad Rock, High Water Pressures, and a Challenging Connection. Rapid Excavation and Tunneling Conference 2015 Proceedings*. Edited by M.C. Johnson and S. Oginski: Society of Mining and Engineering.
2. Dowe, T., Kharivala, B., and O'Connor, P. 2014. *Rondout West Branch Bypass Tunnel Construction and Wawarsing Repairs, Delaware Aqueduct Bid Set*. New York City Environmental Protection.
3. *Water for the Future: Delaware Aqueduct Rondout-West Branch Tunnel Repair*, http://www.nyc.gov/html/dep/html/environmental_reviews/rwb_tunnel_repair_project.shtml



Перевод данной публикации из материалов Всемирного тоннельного конгресса в Бергене (Норвегия, 2017) подготовлен Зиновкиным Павлом Николаевичем (pzinoukin@optimal-trade.ru)

ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ТПМК С ТРАССЫ ТОННЕЛЯ В ДЕМОНТАЖНЫЙ КОТЛОВАН

THE MAIN TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR THE EXIT OF TUNNEL BORING MECHANIZED COMPLEX FROM THE TUNNEL ROUTE TO THE DISMANTLING PIT

А. А. Долев, к. т. н., АО «Мосинжпроект»

A. A. Dolev, Mosinzhproekt

Строительство тоннелей метрополитена в настоящее время осуществляется, в основном, тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК). Их вывод с трассы в существующий приемный (демонтажный) котлован, несмотря на кажущуюся простоту, имеет несколько нюансов, недооценка которых чревата аварийными ситуациями. При выходе ТПМК в котлован необходимо обеспечить условия безопасности людей и сохранность котлована с окружающей застройкой. В сложившейся практике метростроения это достигается выполнением специальных мероприятий. В условиях строительства Московского метрополитена наиболее надежным методом считается использование предкамеры. Тем не менее, можно реализовать еще более экономичные и надежные решения для внедрения в еще более короткие сроки производства.

The construction of subway tunnels is currently carried out mainly by tunneling mechanized complexes. Their exit from the route to the existing receiving (dismantling) pit, despite the apparent simplicity, has several nuances, underestimation of which is fraught with emergency situations. At the exit of boring mechanized complex in the pit, it is necessary to ensure the safety of people and the safety of the pit. In the current practice of metro construction, this is achieved by the implementation of special measures. In the conditions of construction of the Moscow metro, the most reliable method was the method of pre-camera. However, it is possible to implement even more cost-effective and reliable solutions for implementation in even shorter production times.

Строительство тоннелей метрополитена в настоящее время осуществляется, в основном, тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК). Их вывод с трассы в существующий приемный (демонтажный) котлован, несмотря на кажущуюся простоту, имеет несколько нюансов, недооценка которых чревата аварийными ситуациями (рис. 1), выражающимися в прорыве водо-грунтовой массы, деформациями конструкций тоннеля и ограждения котлована, неравномерными осадками поверхности грунта [1] и сверхнормативными деформациями зданий и сооружений окружающей застройки.

Чтобы избежать указанных внештатных ситуаций, при выходе ТПМК в котлован необходимо обеспечить следующие условия:

- безопасность людей и сохранность котлована и окружающей застройки;
- надежное позиционирование ТПМК по оси тоннеля в приемной зоне перед стеной ограждения котлована и в процессе ее прорезания рабочим органом.

В сложившейся практике метростроения это достигается выполнением специальных мероприятий (организационно-технологических и конструктивных).

Организационно-технологические мероприятия

1. Снижение уровня грунтовых вод

Его можно достичь, применив глубинное



Рис. 1. Затопление котлована водогрунтовой массой

водопонижение водопонижительными скважинами и с помощью лучевого дренажа.

Водопонижение – это специальное мероприятие, заключающееся в изменении уровня грунтовых вод с начального, «природного» уровня, до проектного значения, обычно ниже лотка строящегося тоннеля не менее чем на 1 м. После снижения уровня грунтовых вод до требуемых значений, вода или водогрунто-

вая масса уже не будет под давлением прорываться через щель [2] между тоннельной обделкой и проемом в ограждении котлована, прорезанным рабочим органом ТПМК. Это позволит избежать риска затопления котлована водой или водогрунтовой массой. Водопонижение устраивается либо лучевым дренажем со стороны котлована, либо через вертикальные скважины с поверхности грунта

перед котлованом. Ограничением в применении водопонижения является вид грунта. Так, мелкие глинистые пески, способные к проявлению «пльвинных» свойств, почти не поддаются осушению, а пески средней крупности и выше, наоборот, осушаются без особых затруднений. Кроме вида грунта, существенное влияние на возможность водопонижения оказывает глубина производства работ. При глубине около 5–7 м технико-экономически выгодно применять иглофильтры, при большей глубине – глубинное водопонижение.

Но все же, водопонижение хоть и делает врезку ТПМК в ограждение котлована значительно более безопасной, не снимает такие важные проблемные аспекты как прочность и устойчивость.

2. Выход ТПМК в неразработанный котлован

Существует возможность вводить ТПМК в котлован при его частичной разработке, тогда уровень грунтовых вод уже не будет иметь особого значения, т. к. резка конструкций ограждения котлована режущим органом ТПМК будет происходить в грунтовом массиве, в котором усилия от давления ТПМК и градиент напора от грунтовых вод будут нивелированы (рис. 2).

После ввода ТПМК котлован разрабатывают до проектных отметок с параллельным демонтажем самого ТПМК. Достоинства данного способа очевидны: отсутствуют затраты на устройство пригруза и возможность поэтапной, ступенчатой заделки течей (при их наличии) в месте соединения тоннельной обделки и ограждающей конструкции котлована при поэтапной разработке грунта в котловане. Недостатки: удлинение графика строительства (простой ТПМК и трудности совмещенного демонтажа и разработки грунта), высокая концентрация специализированной техники на стройплощадке (сверхтяжелый кран, экскаваторы, грейфер, самосвалы), грунтовые условия должны позволять обходиться без нижней распорной плиты на дне котлована и т. д. Возможно именно по ограниченности годных для реализации этого метода грунтовых условий и организационно-технологическим причинам этот способ не получил распространения в практике метростроения.

Конструктивные мероприятия

1. *Устройство внешнего пригруза.* Его можно выполнить как бетонный массив («стена в грунте», бурокасательные сваи) и массив закрепленного грунта (струйная цементация).

2. *Устройство внутреннего пригруза.* Можно выполнить как временный бетонный массив и временная приёмная камера с инертным наполнителем.

3. *Предкамера (форкамера.)* Она может быть в виде П-образной противофильтрационной завесы типа «стена в грунте» без армирования или металлической разборной, полностью герметической камерой.

При врезке ТПМК путем оттапливания гидрощитов от уложенной тоннельной обделки [3], через ротор оказывает значительное

усилие при давлении на ограждающую конструкцию котлована. Само ограждение котлована рассчитывается, как правило, только на нагрузку от грунта, грунтовой воды и технического оборудования на его бровке. Армирование ограждающей конструкции на участке выхода ТПМК в основном осуществляется стеклопластиковой арматурой, объем которой ограничен, т. к. не должен помешать выходу ТПМК. Получается, что в этом месте конструкция ослабляется прорезаемым проемом (иногда значительным по площади). Кроме того, при встрече с жесткой и прочной конструкцией необходимо обеспечить стабильное положение ТПМК по оси линии трассы без возможности смещения, т. е. нарастание встречной прочности должно быть, по возможности, постепенное. И если дополнительное давление от ТПМК можно нивелировать системой подкосов внутри котлована, то стабильность положения ТПМК обеспечить труднее.

Для того чтобы избежать вышеуказанных трудностей, сделать вывод ТПМК в котлован надежным и прогнозируемым, в практике метростроения используют «пригрузы», которые хорошо зарекомендовали себя в тех условиях, в которых применение водопонижения неэффективно. Размеры пригруза зависят от размеров ТПМК, в основном считается, что длина пригруза должна быть не менее длины щита и еще двух колец (где длина щита принимается не менее 1,4 \varnothing для щитов ≈ 06 м и принимается длина щита 10,2 м для щитов $\approx \varnothing 10,6$ м).

Внешний пригруз. Одним из самых распространенных типов «пригрузов» является конструкция, представляющая собой бетонный массив (обязательно без армирования) невысокой прочности, выполненный с внешней стороны ограждающей конструкции, вплотную к ней, в месте вывода ТПМК с трассы тоннеля (рис. 3). Бетонный массив выполняется с дневной поверхности земли при отсутствии инженерных коммуникаций, зда-

ний и сооружений в зоне работ. При этом вид грунта не имеет значения. Особенности ведения работ обеспечиваются тем, что используется один тип оборудования для возведения стен ограждения котлована и устройства пригруза, поэтому возможно совмещение работ по устройству пригруза и строительству котлована. Устройство бетонных массивов обычно выполняется по технологии бурокасательных свай или траншейной «стены в грунте» путем устройства нескольких параллельных соприкасающихся участков. Достоинством этого способа является чрезвычайно широкий диапазон грунтовых условий, возможная близость существующих зданий (сооружений и коммуникаций), обеспечение прочности ограждения котлована и надежность в позиционировании ТПМК. Недостатком же, кроме отсутствия сооружений и коммуникаций в зоне работ, является избыточная материалоемкость создаваемой конструкции пригруза, а также то, что при заложении тоннеля в водонасыщенных грунтах не обеспечивается безопасность процесса вывода ТПМК в котлован без проведения противофильтрационных мероприятий.

Для снижения материалоемкости работ, в условиях преимущественно дисперсных несвязных грунтов без скальных включений, массив возможно устраивать по технологии струйной цементации. При этом возможно огибать существующие коммуникации, устраивая массив под ними. Струйная цементация (преимущественно jet-2) обеспечивает высокую производительность (в том числе вследствие возможности размещения значительного количества станков одновременно), экономичность и простоту работ по устройству грунтоцементного массива, возможность выполнения работ в стесненных условиях и вблизи существующих зданий, сооружений и коммуникаций, возможность создания конструкций необходимых конфигура-

Рис. 2. Разработка котлована с ТПМК, введенным до начала экскавации грунта



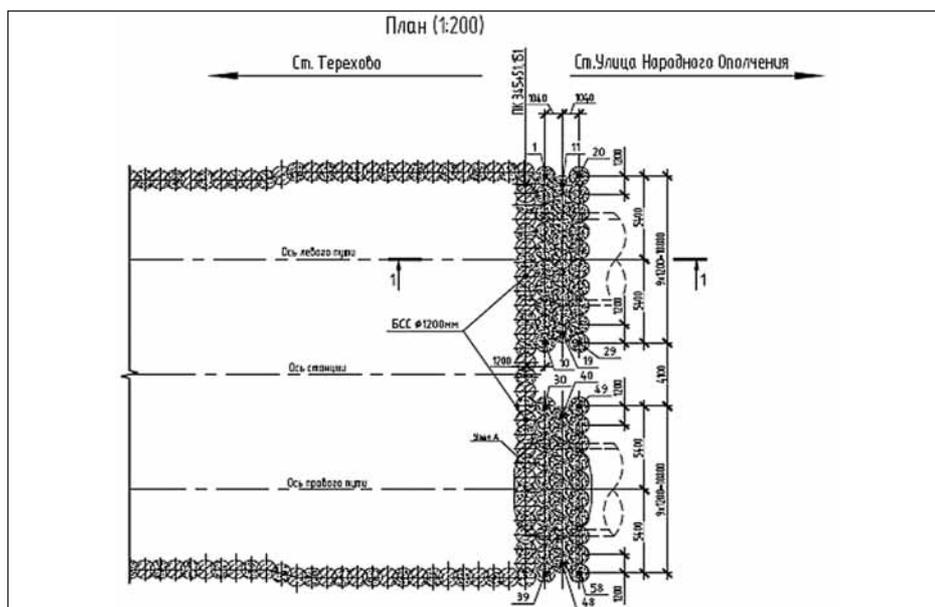


Рис. 3. Бетонный пригруз в местах выхода ТПМК с трассы проходки

ций и заданных размеров, использовании малогабаритного оборудования, возможность совмещения функций пригруза и противофильтрационной защиты при выполнении работ в водонасыщенных грунтах, а также возможность совмещения работ по устройству пригруза со строительством котлована. Недостатком использования струйной технологии для создания массива закрепленного грунта в качестве «пригруза» является то, что в практике московского метроостроительства в водонасыщенных грунтах требуется дополнительное водопонижение и/или дополнительные мероприятия по consolidating грунтов (пропиточная цементация, силикатизация, химзакрепление), использование специального оборудования. Струйная цементация выполняется в основном с дневной поверхности грунта. Созданный по этой технологии массив обеспечивает прочность ограждения котлована и позиционирование

Рис. 4. Вид внутреннего пригруза со стороны котлована



ТПМК в приемной зоне, противофильтрационную защиту при достаточной сплошности.

Внутренний пригруз. При разработанном котловане и отсутствии места для внешнего «пригруза», целесообразно устраивать «пригруз» внутри котлована из временного бетонного монолитного массива низкой прочности (рис. 4).

В основном этот метод используется при наличии водонасыщенных грунтов за ограждением котлована, позволяет совмещать функции пригруза и противофильтрационной защиты. Метод отличается простотой конструкции и возможностью использования для его возведения общестроительного оборудования. Недостатком метода является увеличение размера зоны демонтажных работ в котловане, необходимость монтажа и последующей разломки временных железобетонных колец (полукольцев) в границах конструкции пригруза, высокая материалоемкость конструкции, трудоемкость ее разломки, увеличение продолжительности строительства.

Рис. 5. Временная торцевая стена с металлическими подкосами



емкость конструкции, трудоемкость ее разломки, увеличение продолжительности строительства.

Разновидностью внутреннего пригруза является временная приемная камера с инертным наполнителем внутри разработанного котлована, также совмещающая функции пригруза и противофильтрационной защиты. Однако наличие такого внутреннего пригруза не исключает необходимости устройства облегченной конструкции внешнего пригруза, требуемого для осуществления позиционирования ТПМК в приемной зоне перед стеной ограждения котлована.

Еще одним видом внутреннего пригруза является временная торцевая стена с металлическими подкосами (рис. 5).

Подобная конструкция сооружается внутри готового котлована, используется при всех видах грунта, отличается от всех других типов простотой конструкции, компактностью и малой материалоемкостью. Возводится при помощи общестроительного оборудования. Однако при заложении тоннеля в водонасыщенных грунтах, не обеспечивает безопасностью процесса вывода ТПМК в котлован без проведения противофильтрационных мероприятий, также не исключает устройства облегченного внешнего пригруза для позиционирования ТПМК, хотя и обеспечивает прочность ограждения котлована.

Предкамера. По опыту работ в московском метроостроении одним из надежных методов вывода ТПМК с трассы в котлован является устройство предкамеры (форкамеры). Метод заключается в устройстве П-образной конструкции, подобной ограждению котлована, перед местом врезки ТПМК (рис. 6).

Эта конструкция выполняется или из неармированных малопрочных буросекующихся свай, или из соответствующей «стены в грунте», смотря по способу возведения ограждающей конструкции основного котлована. При этом наличие водоупорного слоя в основании П-образной стены целесообразно, но не обязательно. В случае ее отсутствия, в форкамере выполняется стандартное водопонижение. Основное назначение этой конструкции – противофильтрационная завеса. Неоспоримым достоинством этой конструкции является выполнение работ во всем диапазоне грунтовых условий и вблизи существующих зданий, сооружений и коммуникаций, использование одного типа оборудования для возведения стен ограждения котлована и устройства П-образной конструкции, совмещение работ по устройству периметральной стены со строительством котлована. Основным недостатком является необходимость наличия или организации значительной по размерам зоны работ, свободной от инженерных коммуникаций, зданий и сооружений, дополнительные мероприятия по обеспечению прочности ограждения котлована (например, металлические рамные подкосы).

Металлическая разборная герметическая камера. Еще одним, гипотетически

возможным, способом вывода ТПМК в уже разработанный котлован при уровне грунтовых вод выше дна котлована является его вывод в инвентарную металлическую разборную, полностью герметическую камеру, диаметр которой превышает диаметр ТПМК. Длина камеры равняется длине щита и двух колец обделки, заполнение камеры – либо водонасыщенный песок, либо без заполнения. Один торец этой камеры герметически прикреплен к ограждению котлована, другой торец заглушен. В этом случае также отпадает необходимость устраивать «пригруз», а сама эта камера, по сути, является своего рода удлиненным ниппельным сооружением. После выхода ТПМК в камеру, она по сегментам разбирается, заполнение камеры и ТПМК извлекаются, герметичность узла сопряжения тоннельной обделки и ограждения котлована обеспечивается тампонажным составом при проходческих работах. При форс-мажорных обстоятельствах возможна дополнительная гидроизоляция этого узла инъекцией спецсоставов через специально пробуренные инъекционные скважины, бурение возможно как из тоннеля, так и из котлована. Предложенный способ описан в зарубежной литературе [4] и отличается надежностью, быстротой реализации и низкой себестоимостью вследствие применения сборных металлоконструкций, обрачиваемость которых может достигать 10 раз и более. Для обеспечения прочности ограждения котлована устраиваются металлические рамные подкосы.

Практические решения

В таблице приведены основные практические конструктивные решения по обеспечению процесса вывода ТПМК с трассы перегонного тоннеля в приемный (демонтажный) котлован. Представленные конструктивные решения реализовывались при строительстве Московского метрополитена, и характеризуются разными типами грунтовых условий (водонасыщенные и не водонасыщенные грунты, преимущественно связанные и несвязанные), разной продолжительностью реализации (от 0,5 до 3,6 месяцев), разным назначением (противофильтрационная защита, обеспечение прочности ограждения котлована и позиционирование ТПМК в приемной зоне перед стеной ограждения котлована) и разной стоимостью (для одного пригруза – от 57 998,28 до 7 459,75 тыс. руб. в ценах июня 2019 г.).

Таким образом, к настоящему времени сложилась применительная практика решений по выводу ТПМК в демонтажный котлован, отвечающая требуемым инженерно-геологическим и организационно-технологическим условиям, что облегчает выбор способа для достижения наибольшей надежности и кратчайших сроков реализации. В условиях строительства Московского метро наиболее надежным оказался метод предкамеры (форкамеры). Однако возможно внедрение еще более экономичных и надежных ре-

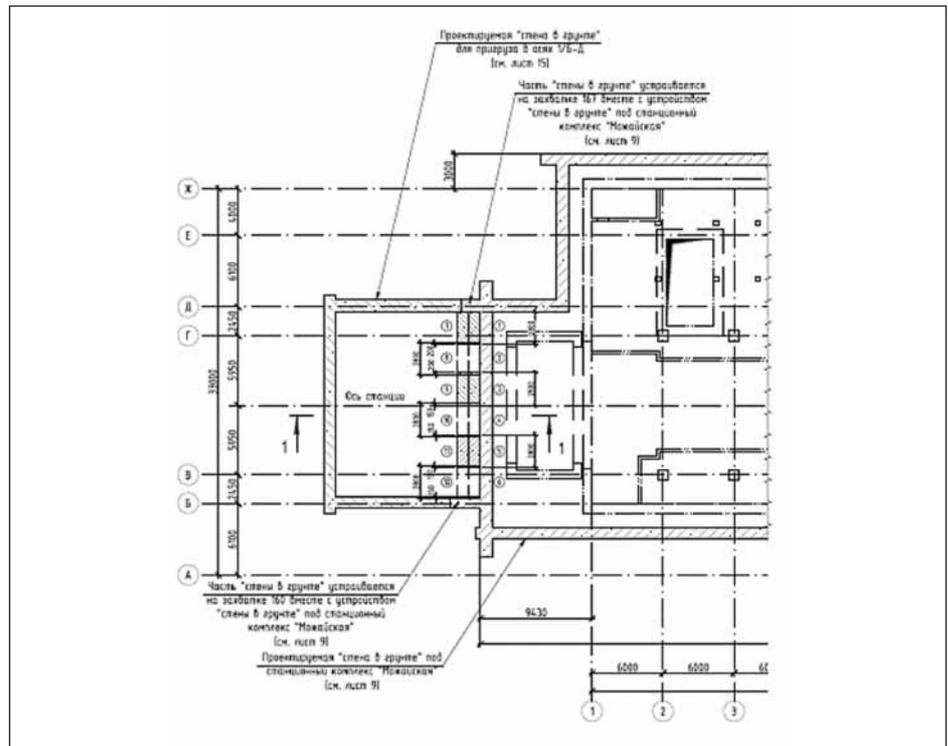


Рис. 6. Форкамера перед демонтажным котлованом

шений для реализации в еще более короткие сроки производства работ.

Выводы

Обобщая представленную выше техническую информацию, можно сделать следующие выводы относительно вариативности применения конкретных конструктивных решений по обеспечению процесса вывода ТПМК, в зависимости от уровня грунтовых вод, как фактора, имеющего наибольшее значение при реализации безаварийности работ, и различных методов его реализации.

1. В случае если уровень грунтовых вод ниже дна котлована и есть возможность ведения работ с дневной поверхности:

- внешний пригруз – бетонный массив минимального размера в плане (2–3 м), выполняемый по технологии ограждающей конструкции котлована на данной площадке (траншейная «стена в грунте» или буронабивные сваи);

- внешний пригруз – массив закрепленного грунта минимального размера в плане (2–3 м) по технологии струйной цементации, применяется при условии наличия в зоне закрепления песков средней крупности и крупных и глубине котлована больше 20 м.

2. Уровень грунтовых вод выше дна котлована и есть возможность ведения работ с дневной поверхности:

- внутренний пригруз – временная приёмная камера с инертным наполнителем при её возможности размещения в котловане и дополнительно внешний пригруз – бетонный массив минимального размера в плане (2–3 м), выполняемый по технологии ограждающей конструкции котлована на данной площадке (траншейная «стена в грунте» или буронабивные сваи);

- внутренний пригруз – временная приёмная камера с инертным наполнителем при её возможности размещения в котловане и дополнительно внешний пригруз – массив закрепленного грунта минимального размера в плане (2–3 м) по технологии струйной цементации, применяется при условии наличия в зоне закрепления песков средней крупности и крупных и глубине котлована больше 20 м;

- снижение уровня грунтовых вод водопонижительными скважинами при условии наличия песков средней крупности и крупных и залегания водоупора ниже дна котлована более 5 м и дополнительно внешний пригруз – бетонный массив минимального размера в плане (2–3 м), выполняемый по технологии ограждающей конструкции котлована на данной площадке (траншейная «стена в грунте» или буронабивные сваи);

- снижение уровня грунтовых вод водопонижительными скважинами при условии наличия песков средней крупности и крупных и залегания водоупора ниже дна котлована более 5 м и дополнительно внешний пригруз – массив закрепленного грунта минимального размера в плане (2–3 м) по технологии струйной цементации применяется при глубине котлована больше 25 м;

- снижение уровня грунтовых вод горизонтальными скважинами лучевого дренажа, выполняемыми из котлована при условии наличия песков пылеватых и мелких и дополнительно внешний пригруз – бетонный массив минимального размера в плане (2–3 м), выполняемый по технологии ограждающей конструкции котлована на данной площадке (траншейная «стена в грунте» или буронабивные сваи);

Основные конструктивные решения по обеспечению процесса вывода тоннелепроходческого комплекса (ТПМК) с трассы перегонного тоннеля в приемный (демонтажный) котлован

Грунтовые условия	Продолжительность реализации, мес.	Назначение	Примеры выполнения	Стоимость работ в ценах июня 2019 г., тыс. руб.
Грунты связные и несвязные, водонасыщенные	2,2	С дневной поверхности. Отсутствие инженерных коммуникаций, зданий и сооружений в зоне работ. Внешний пригруз, бурокасательные сваи • Обеспечение прочности ограждения котлована • Позиционирование ТПМК в приемной зоне	Западный участок ТПК, монтажный котлован ст. «Нижние Мневники»	30 581,52
Грунты связные и несвязные, водонасыщенные	1,3	С дневной поверхности. Отсутствие инженерных коммуникаций, зданий и сооружений в зоне работ. Внешний пригруз, траншейная «стена в грунте» • Обеспечение прочности ограждения котлована • Позиционирование ТПМК в приемной зоне	Юго-Западный участок ТПК, ст. «Мичуринский проспект»	40 194,00
Дисперсные, несвязные, водонасыщенные	1,8	С дневной поверхности. Отсутствие инженерных коммуникаций, зданий и сооружений в зоне работ. Внешний пригруз, массив закрепленного грунта • Обеспечение прочности ограждения котлована • Позиционирование ТПМК в приемной зоне • ПФЗ	Западный участок ТПК, демонтажный котлован ст. «Улица Народного ополчения»	57 998,28
Водонасыщенные грунты	0,7	В котловане. Готовность котлована. Внутренний пригруз, временный бетонный массив • Обеспечение прочности ограждения котлована • ПФЗ	Юго-Западный участок ТПК демонтажный котлован станции «Мичуринский проспект»	51 493,8 (как разломка вручную) 14925,4 (демонтаж как разломка форшахты)
Водонасыщенные грунты	0,75	В котловане. Готовность котлована. Внутренний пригруз, временная приемная камера с инертным наполнителем • Обеспечение прочности ограждения котлована • ПФЗ	Кожуховская линия, ст. «Нижегородская» – ст. «Авиамоторная», площадка 26	17 707,15 (как разломка вручную), 7 459,75 (как разломка форшахты)
Все виды грунтов	0,5	В котловане. Готовность котлована. Внутренний пригруз, временная торцевая стена с металлическими подкосами • Обеспечение прочности ограждения котлована	Западный участок ТПК, перегон от ст. «Нижние Мневники» до ст. «Улица Народного ополчения»	8 353,57
Любая связанность, водонасыщенные. Наличие водоупорного слоя в основании периметральной стены	3,6	С дневной поверхности. Предкамера (форкамера), ПФЗ типа «стена в грунте» Отсутствие инженерных коммуникаций, зданий и сооружений в зоне работ	Западный участок ТПК, ст. «Можайская»	33 977,89
Дисперсные, несвязные (преимущественно). Наличие водоупорного слоя в основании периметральной стены	1,2	С дневной поверхности. Предкамера (форкамера), ПФЗ по технологии струйной цементации Отсутствие инженерных коммуникаций, зданий и сооружений в зоне работ	Западный участок ТПК, ст. «Можайская»	24 464,0

• снижение уровня грунтовых вод горизонтальными скважинами лучевого дренажа, выполняемыми из котлована при условии наличия песков пылеватых и мелких и дополнительно внешний пригруз – массив закрепленного грунта минимального размера в плане (2–3 м) по технологии струйной цементации применяется при глубине котлована больше 25 м;

• предкамера (форкамера), выполняемая по технологии ограждающей конструкции котлована на данной площадке (траншейная «стена в грунте» или буронабивные сваи) при условии залегания водоупора ниже дна котлована до 10 м и дополнительно снижение уровня грунтовых вод водопонижительными скважинами внутри форкамеры;

• внешний пригруз – бетонный массив с размерами в плане 5–6 м, выполняемый по технологии ограждающей конструкции котлована на данной площадке (траншейная «стена в грунте» или буронабивные сваи), и дополнительно снижение уровня грунтовых вод водопонижительными скважинами при

условии залегания водоупора ниже дна котлована более 5 м;

• внешний пригруз – массив закрепленного грунта с размерами в плане 5–6 м по технологии струйной цементации, применяется при условии наличия в зоне закрепления песков средней крупности и крупных и глубине котлована больше 20 м и дополнительно снижение уровня грунтовых вод водопонижительными скважинами при условии залегания водоупора ниже дна котлована более 5 м.

Ключевые слова

Демонтажный котлован, вывод с трассы тоннеля, позиционирование на оси проходки, затопление котлована, пригруз внутренний, пригруз внешний, ограждение котлована, предкамера, инвентарная разборная камера.

Dismantling pit, output from the route of the tunnel, positioning on the axis of sinking, flooding of the pit, internal kentledge, external kentledge, pit fence, pre-chamber, inventory collapsible chamber.

Список литературы

1. Швецов В. А., Меркин В. Е., Пискунов А. А. *Нештатные ситуации при строительстве объектов метрополитена. Причины и ликвидация последствий. Вестник евразийской науки.* 2014.
2. Скворцов А. А. *Оценка влияющих факторов на итоговую величину строительного зазора. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)* 2012.
3. Мазеин С. В. *Обоснование расчетных сопротивлений трения грунта и тоннельной обделки продвижению щитовой машины // Горное оборудование и электромеханика (научно-аналитический журнал).* 2010.
4. N. D. Valle, P. G. de Haro, I. S. Gatón *TBM shield machines break in and break out // International Tunneling Symposium in Turkey: Challenges of Tunneling (Tunnel Turkey, Istanbul) Istanbul, 2–3 December 2017.*

Для связи с автором

Долев Андрей Андреевич
a_a_dolev77@mail.ru



ПРОДУКЦИЯ ФИРМЫ CONDAT ДЛЯ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ

Щеточное уплотнение:

- WR 90NewGeneration
- WR 89NewGeneration
- SL 89NewGeneration

Уплотнение привода подшипника:

- HBW NewGeneration
- GR 130EP2

**КОНДИЦИОНЕРЫ МАРКИ CLBF5
ДЛЯ ВСЕХ ТИПОВ ГРУНТОВ**

Avenue Frederic Mistral-B.P. 16 - 38670 Chasse-sur-Rhone, France
tel. +33 478 07-38-45, fax +33 478 07-37-67
tmsi@condat.fr, www.condat.fr

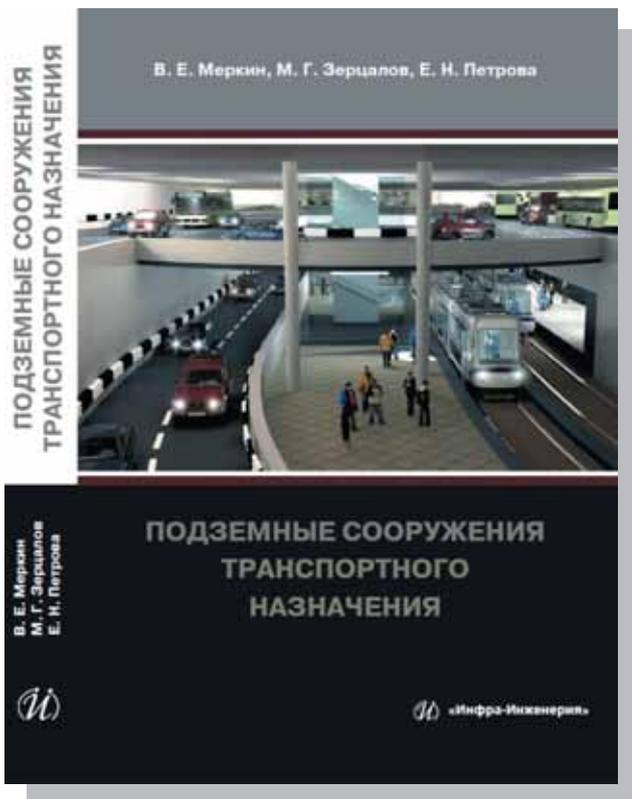
Представительство в России: ООО „ТА Инжиниринг Инт.“

127521, Москва, ул. Октябрьская, 80, стр. 3, офис 4206

тел.: (903) 7247481; (495) 9818071

CONDAT

ВСЁ О ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЯХ



Современное развитие мегаполисов требует расширения транспортных сетей на территориях жилой застройки и промышленных объектов, сопровождается сокращением свободных площадей и незастроенных территорий, вследствие чего единственным решением проблем развития городов в настоящее время представляется освоение подземного пространства. Эффективное использование пространства ниже уровня дневной поверхности давно уже является мировым трендом. В мировой практике подземное строительство – это не только прокладка транспортных магистралей, но и создание под землёй многих объектов городской инфраструктуры, а также новых рекреационных зон в центральной части исторической застройки городов. Это один из ключевых способов превращения исторических кварталов городов в экологически благоприятные и комфортные, привлекательные территории для туризма и отдыха. И если два десятилетия назад подземные сооружения располагались на глубинах не более 20 м, то современные объекты осваивают подземные глубины до 60 м, что требует применения инновационных технических решений. В связи с указанным, вышедшая в издательстве «Инфра-Инженерия» (<http://www.infra-e.ru/>) монография известных учёных и специалистов транспортного тоннелестроения В. Е. Меркина, М. Г. Зерцалова и Е. Н. Петровой «Подземные сооружения транспортного назначения» (548 с., ил., табл.) представляется чрезвычайно своевре-

менной и, можно сказать, долгожданной.

В монографии рассматриваются актуальные вопросы проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений, предназначенных для пропуска транспортных средств автомобильного и железнодорожного транспорта, а также метрополитена. Особое внимание уделяется оценке экологического влияния подземного строительства, геотехническому мониторингу, прогнозированию и предотвращению нештатных ситуаций.

В складывающихся условиях транспортного тоннелестроения и эксплуатации подземных транспортных объектов всё более востребованные современные технологии строительства требуют непрерывного повышения квалификации специалистов. Это невозможно

без литературы, отражающей состояние и новейшие достижения отечественной и мировой практики в строительной отрасли, предопределяет актуальность и востребованность систематизации материала по рассматриваемой тематике. Предлагаемая книга решает эту задачу.

При подготовке монографии были проанализированы многочисленные источники научно-технической и учебной информации в области подземного строительства, написанные разными авторами и в разные годы. Всё то непреходящее, что в них содержалось, в максимальной степени использовано в новой книге.

В предлагаемом вниманию читателя издании выполнена актуализация сведений о проектировании, строительстве и эксплуатации подземных сооружений, предназначенных для средств автомобильного и железнодорожного транспорта и объектов метрополитена. При этом в монографии изложены, что называется, «из первых рук», результаты научного сопровождения строительства, внедрения в практику отечественного метро- и тоннелестроения современных высокопроизводительных механизированных проходческих комплексов и сборных водонепроницаемых железобетонных обделок, существенно расширены по сравнению с другими аналогичными изданиями разделы эксплуатационного обустройства объектов.

Особенность книги – в системном методологическом подходе, интегрированной подаче нормативной литературы по каждой

теме и современных модификациях известных технологий.

Цель книги – показать основные, наиболее прогрессивные на сегодняшний день конструкции и технологии, применяемые для строительства и эксплуатации подземных сооружений транспортного назначения. Представленный в ней материал методически систематизирован и отвечает на вопросы, востребованные в практической деятельности, включая обустройство подземных сооружений для эксплуатации, прогнозирования и предотвращения нештатных ситуаций.

Глава 1 монографии знакомит читателя с процессом развития конструкций и технологий освоения подземного пространства при решении транспортных проблем в различные исторические периоды. Здесь же даётся оценка современного состояния строительства подземных сооружений транспортного назначения. В главе 2 рассмотрены классификация таких сооружений и объектов и общие требования к их проектированию. Глава 3 отражает современную ситуацию в области производства материалов и конструкций для важнейших несущих элементов подземных сооружений транспортного назначения, а в главе 4 приведены основные сведения по технологии работ в связи с их строительством. В главе 5 рассмотрены применяемые в практике транспортного строительства методы и средства гидроизоляции подземных сооружений транспортного назначения, а главы 6 и 7 содержат основные сведения об инженерном обустройстве для безопасной эксплуатации подземных сооружений транспортного назначения, освещаются вопросы предотвращения нештатных ситуаций.

Книга содержит большое число конкретных примеров, богато иллюстрирована цветными фотографиями.

Учитывая, что в основу книги положены обобщение опыта, накопленного в нашей стране и за рубежом в последние годы, многолетняя работа авторов при проведении научных исследований, проектировании и строительстве подземных сооружений различного назначения, педагогическая практика в области геотехники и освоения подземного пространства, она будет полезна специалистам в области подземного строительства, а также преподавателям и учащимся вузов по специальностям 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей», будет, несомненно, способствовать дальнейшему повышению уровня современного подземного транспортного строительства.



В. В. Космин,
академик Российской академии транспорта,
почётный транспортный строитель