

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. Шепилько, 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», 2021

№ 3 2021

Юбилеи отрасли

Сила поколений, гордость страны!

С. А. Жуков

4

В Тоннельной ассоциации России

Итоги Научно-технической конференции «Применение
прогрессивных технологий в подземном строительстве»

В. В. Внутских, Д. С. Конюхов, А. М. Потокина

8

Юбилеи отрасли

Первое 10-летие Научно-инженерного
центра Тоннельной ассоциации

В. Е. Меркин, В. Е. Русанов

16

Мониторинг

Система геодинамической безопасности
при эксплуатации транспортных тоннелей для реализации
стратегических транспортных проектов России

М. О. Лебедев

18

Актуальные проблемы нормирования геотехнического
мониторинга объектов ОАО «РЖД» на строительстве метро

Д. С. Петунина

22

Щитовая проходка

Российская система навигации
тоннелепроходческих комплексов

Г. М. Стафеев, А. Г. Леонов

26

Вентиляция

Возможности системы соплового агрегата
для обеспечения противодымной защиты
проемов пересадочных сооружений метрополитена

П. А. Имануилов, Е. К. Левина, Е. А. Савенков,
С. А. Молодцова, К. В. Кочарьянц, И. Н. Тисленко

27

Специальные способы работ

Опыт применения струйной цементации для устройства
противофильтрационных завес в скальных грунтах

С. С. Зуев

30

Геотехника

Hardening Soil: практический опыт применения
результатов инженерно-геотехнических изысканий

А. Д. Меркулова, В. С. Зубарев

34

BIM-технологии для тоннелей

Проектирование объектов метрополитена
с применением технологии информационного
моделирования в среде общих данных.
Цифровая трансформация проектного предприятия

П. В. Чеканов

38

Железнодорожные тоннели

Математическое моделирование аэродинамических
процессов в железнодорожных тоннелях
на высокоскоростных магистралях

А. П. Ледаев, В. Н. Кавказский, О. О. Шелгунов

40

Архитектура метрополитена

О перспективах использования светопрозрачных
материалов в архитектурном оформлении
подземных сооружений метрополитена

Л. Р. Давиденко, Д. А. Бойцов, К. В. Романевич

44

Партнеры Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой



СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Котлован для монтажа
и демонтажа ТПМК
на БКЛ в Москве
(с. 4)

ВЛАДИМИРУ АРКАДЬЕВИЧУ БРЕЖНЕВУ ИСПОЛНИЛОСЬ 90 ЛЕТ!



Владимир Аркадьевич родился 27 августа 1931 г. в г. Днепродзержинске Днепропетровской области. В 1955 г. окончил Одесский гидротехнический институт. После окончания института работал в организациях транспортного строительства, обеспечивающих строительство гидротехнических сооружений в Приморском крае, на Сахалине, Курильских островах и Камчатке.

С 1959 г. занимался сооружением объектов транспортной инфраструктуры на Украине, где прошёл путь от старшего прораба до руководителя треста «Югозаптрансстрой».

В 1975–1985 гг. – заместитель, первый заместитель Министра транспортного строительства СССР. С 1985 г. – Министр транспортного строительства СССР. С 1991 г. – президент Корпорации «Трансстрой».

Весь трудовой путь В. А. Брежнева неразрывно связан с развитием транспортной инфраструктуры СССР и России. Он непосредственный участник реализации многих комплексных программ развития транспорта и энергетики на необъятных просторах нашей страны – Южно-Сибирская, Средне-Сибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали, железнодорожные линии и автомобильные дороги, открывающие доступ к нефтеносным районам и крупным месторождениям природных ископаемых Сибири и Дальнего Востока, северных территорий страны, железнодорожные вокзалы, крупные морские порты и аэропорты. Его талант крупного организатора строительного производства ярко проявился в ходе ликвидации последствий аварии на атомной электростанции в Чернобыле, где за короткое время были сформированы строительные подразделения, выполнившие большой объём

сложнейших работ, обеспечивших сооружение мощного фундамента под аварийным ядерным реактором.

Трудовая деятельность В. А. Брежнева отмечена многими орденами и медалями СССР и России. Ему присвоены почётные звания «Заслуженный строитель СССР», «Заслуженный строитель Украинской ССР», «Заслуженный строитель Российской Федерации», «Почётный строитель города Москвы», «Почётный транспортный строитель» и др.

Много сил, энергии и знаний Владимир Аркадьевич отдал техническому перевооружению в области подземного строительства. Курируя на протяжении многих лет работу Главтоннельмостростроя Министерства транспортного строительства, он активно влиял на повышение производительности труда, безопасности и качества выполняемых работ в этой технически сложной и чрезвычайно опасной подотрасли транспортного строительства. В сложное время, связанное с изменением экономических отношений, им вместе со своими соратниками был приложен максимум усилий для сохранения высокого профессионального потенциала проектировщиков и строителей, занятых сооружением метрополитенов, железнодорожных и автодорожных тоннелей, подземных гидротехнических комплексов и тоннелей, коммунальных сооружений городской инфраструктуры. Одним из результатов этой работы стало создание Тоннельной ассоциации России, главной целью которой является содействие разными формами и методами ускорению научно-технического прогресса в проектировании и строительстве тоннелей и подземных сооружений.

Поддержав идею и дав добро на создание Тоннельной ассоциации России, Владимир Аркадьевич все последующие годы интересовался работой ассоциации, активно участвовал в проводимых мероприятиях, всемерно способствовал укреплению её престижа, а в течение 10 лет (1999–2008 гг.) возглавлял её работу, являясь председателем правления.

Во многом благодаря его опыту и знаниям, способностям крупного организатора строительного производства современные метро- и тоннелестроители России в конце 1990-х – начале 2000-х годов успешно провели техническое перевооружение подземного строительства и в настоящее время способны с честью выполнять самые сложные задачи по освоению подземного пространства.

Уважаемый Владимир Аркадьевич!

В день Вашего 90-летия Тоннельная ассоциация России глубоко и искренне благодарит Вас за те усилия, который Вы вложили в дело создания нашей организации и укрепление её авторитета. Высокий научно-технический и производственный потенциал метро- и тоннелестроителей России, демонстрируемый ими в настоящее время при реализации программ развития транспортной инфраструктуры нашей страны, во многом базируется на принципах высокой профессиональной ответственности, взаимопомощи и взаимовыручки, заложенных Вами и Вашими соратниками в годы перестройки экономических отношений и при создании Тоннельной ассоциации России. Заверяем Вас, что эти принципы всегда будут являться приоритетными в нашей деятельности. Поздравляем Вас, дорогой Владимир Аркадьевич, с Юбилеем и желаем крепкого здоровья и долгих счастливых лет жизни.

Председатель правления ТАР
Руководитель Исполнительной дирекции ТАР

К. Н. Матвеев
А. Б. Лебедев

**Мосметрострой***Коллективу АО «Мосметрострой»****Уважаемые коллеги!***

В далёкие тридцатые годы прошлого столетия началось становление российской школы метростроения. Тогда руководством страны было принято решение о строительстве первых линий метро в нашей столице и создании Московского метростроя, а в этом году ваш коллектив уже отмечает свой 90-летний юбилей.

Нам приятно отметить, что вот уже почти целый век АО «Мосметрострой» не только играет значительную роль в появлении метро в крупнейших городах бывшего СССР, но и продолжает удерживать лидирующие позиции основного застройщика Московского метрополитена.

Специалисты Московского метростроя владеют всеми известными на сегодняшний день методами и технологиями строительства линий метрополитена и подземных сооружений. Осваивая сложнейшую современную технику, используя передовые технологии строительства и свой богатейший производственный опыт, ваш коллектив внес решающий вклад в строительство городских автодорожных тоннелей в Москве и железнодорожных тоннелей на Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и продолжает успешно реализовывать задачи по интенсификации строительства Московского метрополитена.

Благодаря энтузиазму, смелости, высокому профессионализму и творческому подходу к реализации поставленных задач, коллектив Мосметростроя не просто прокладывает городские транспортные линии, а возводит настоящие подземные дворцы. Свидетельством этому является тот факт, что сегодня Московский метрополитен – это одна из достопримечательностей столицы, поражающая жителей и гостей города своим величием и восхитительным архитектурным и художественным обликом, а многие станции Московского метрополитена отмечены престижными отечественными и международными премиями в области архитектуры и строительства.

Авторитет московских метростроителей в области освоения подземного пространства признан не только в нашей стране, но и мировым сообществом. Так, реализованный Мосметростроем проект по модернизации Владивостокского тоннеля Дальневосточной железной дороги стал победителем в одной из номинаций Конкурса «Лучший реализованный проект года – 2019», учредителем которого является Международная ассоциация тоннелестроения и освоения подземного пространства.

Не можем в этот торжественный день не отметить, что Московский метрострой является одним из инициаторов и учредителей создания Тоннельной ассоциации России и играет в ней ведущую роль в области распространения передового опыта строительства подземных сооружений.

От всей души поздравляем коллектив АО «Мосметрострой» с 90-летием со дня основания организации! Желаем постоянно идти в ногу с современными тенденциями развития науки и техники в области освоения подземного пространства, сохраняя ведущие позиции в реализации интересных и масштабных проектов развития транспортной инфраструктуры нашей страны. Дорогие коллеги, благополучия, здоровья и самого светлого будущего вам и вашим семьям!

Правление Тоннельной ассоциации России

СИЛА ПОКОЛЕНИЙ, ГОРДОСТЬ СТРАНЫ!

В 2021 г. одна из старейших строительных компаний столицы – Московский метрострой отмечает свой юбилей – 90 лет со дня основания. О ходе работ на Большой кольцевой линии и продлении Люблинско-Дмитровской линии, а также о новом зарубежном опыте и перспективах компании рассказал генеральный директор АО «Мосметрострой» Сергей Анатольевич Жуков.



– Мосметрострой принимает активное участие в реализации такого масштабного проекта, как Большая кольцевая линия. Что сегодня происходит на ваших строительных площадках?

– Мы подходим к завершению горнопроходческих работ на северо-восточном участке БКЛ, это трудоемкий и продолжительный этап, который уже скоро останется позади. На станциях «Рижская» и «Марьино Роща», самых сложных из шести станций новой кольцевой линии, выполнили переборку боковых пилот-тоннелей диаметром от 6 до 8,5 м. Завершается раскрытие проемов между центральным и двумя боковыми залами. На обеих станциях построены подходные коридоры и камеры лестничных спусков. Продвигается строительство и на станции «Сокольники». На сегодняшний день общая готовность архитектурной отделки станции составляет 50 %. Параллельно идет облицовка пассажирской зоны в уровне лестниц и балконов, а также в зоне установленных эскалаторов первого и второго вестибюлей. Полностью готовы полы платформы и колонны. В вестибюлях установлены эскалаторы, где еще предстоит сборка подъемных машин, балюстрады, лестничного полотна и поручней. И, наконец, долгожданный этап для жителей района – благоустройство Сокольнической площади. Не прерываются работы и на строительстве второго выхода со станции «Авиамоторная».

Еще три станции, которые будут интегрированы в южный участок Большой кольцевой линии, и где Мосметрострой сегодня развернул масштабные работы по реконструкции – «Каховская», «Варшавская» и «Каширская». Наша задача не только внедрить современные инженерные системы и обновить визуальный облик станций, но и включить их в состав кольцевой линии. Для этого на участке соорудили соединительную ветку в электродепо «Замоскворецкое». Проходка была непростая, пришлось пройти трассу в суглинистых грунтах и водонасыщенном песке длиной 770 м за 112 дней и финишировать в демонтажной щитовой камере между станциями «Каховская» и «Варшавская».

– Какую из перечисленных станций Большого кольца Вы бы особо отметили?

– Безусловно, станция «Сокольники» является знаковым объектом для Мосметростроя, поскольку она сооружается рядом с одноименной станцией Сокольнической линии, с которой 90 лет назад началась история старейшей организации страны.

Ее архитектурный облик станет данью уважения к первостроителям. Композиции панно с изображением архивных материа-



Архитектурный облик станции «Сокольники» Большой кольцевой линии будет посвящен первостроителям метро



Монтаж панелей на путевой стене станции «Сокольники» БКЛ



Смонтированное панно на путевой стене станции «Сокольники» БКЛ

лов фотографий, отдельных частей архитектурных сооружений станций и нереализованных проектов размещают на путевых стенах, балконах и потолках. Это позволит погрузить пассажиров в атмосферу исторической ретроспективы метростроения в столице и легендарных событий в жизни Московского метростроя.

Всего на путевых стенах будет насчитываться 327 панелей, общая площадь сложенной картинки составит 490 м². Для сравнения, на станции «Электровзаводская» БКЛ, открытой в конце декабря прошлого года, смонтировано 570 панелей, на которых представлена работа народного художника Александра Рукавишникова «Битва героев». Мы планируем завершить монтаж всех художественных элементов на платформе этой осенью.

– Как продвигаются строительные работы на северном продлении Люблинско-Дмитровской линии?

– Темпы строительства внушительные. На 80 % пройдены перегонные тоннели между станциями «Лианозово» и «Физтех». Комплексы Herrenknecht S-770 «Татьяна» и S-771 «Ирина» успешно вышли за пределы Московской кольцевой автодороги. Во время проходки этого участка метростроители проводили организационные мероприятия: строже следили за давлением в пригрузе забойной камеры согласно диаграмме пригрузки, а также за количеством закачиваемого тампонажного раствора, не допуская образования пустот в заобделочном пространстве. Еще один щит, который задействован на этом участке, легендарный Lovat-242SE с неизменным именем «Клавдия», который прокладывает правый перегонный тоннель от станции «Яхромская» к «Лианозово», завершит проходку осенью. Из этого следует, что к концу 2021 г. Мосметрострой пройдет все перегонные тоннели на продлении Люблинско-Дмитровской линии до станции «Физтех».

– Опыт Мосметростроя в зарубежных проектах сложно оценить. На какой стадии проект в Сербии?

– Московские метростроевцы принимают участие в реализации одного из самых амби-

циозных проектов Восточной Европы – строительстве тоннелей на участке скоростной железной дороги от Белграда до государственной границы Сербии.

Специалисты Мосметростроя совместно с РЖД Интернешнл проложили два железнодорожных однопутных тоннеля на участке Стара-Пазова – Нови-Сад. Работа стартовала в сентябре 2017 г. В феврале 2022 г. планируется полностью завершить обустройство и оснащение тоннелей.

Трасса тоннелей пролегает в сложных горно-геологических условиях, в том числе через неустойчивые обводненные грунты. Благодаря богатому опыту и высокой квалификации московских метростроителей проект удалось реализовать в запланированные сроки.

Проходку вели одновременно с южного и северного порталов по четырем забоям. Северные порталы выходили в оползневую зону в границах национального парка «Фрушка Гора». Ее укрепили каскадом опорных конструкций из буронабивных свай, объединенных ростверками. Сбойки правого и левого тоннелей состоялись в первой половине 2020 г.

В рамках проекта Мосметрострой завершил строительство 46-ти искусственных сооружений: 2 железнодорожных моста и 2 автомобильные эстакады, 4 подземных транс-

портных тоннеля, 5 подземных пешеходных переходов и 33 водопропускные трубы. Все объекты предстояло выполнить в населенных пунктах, в зонах действующих коммуникаций и на пересечениях автомобильных дорог. Это обстоятельство потребовало тщательно продумать логистику и организацию строительных площадок.

Самыми сложными в исполнении оказались крупные объекты. Среди них – S-образная автомобильная эстакада с пролетами из преднапряженных бетонных конструкций, расположенная в городе Сремски-Карловцы, и железнодорожный мост в городе Нови-Сад, для возведения которого полностью перекрывали автомобильное движение по главной улице и выполняли работы в круглосуточном режиме.

В число непростых объектов вошел и автомобильный тоннель под железной дорогой на улице Божидара Аджиче в г. Петроварадине. При его строительстве обнаружили подземное озеро, воду откачивали насосами круглосуточно, чтобы потом полностью заменить грунт. Другой аналогичный переезд, на улице Воеводы Путника в Инджии, соединяющий город с автомагистралью между Белградом и Нови-Садом, строили в тесных условиях: в окружении жилых домов, стадиона и мукомольной фабрики.

Руддвор механизированной проходки двух тоннелепроходческих комплексов от станции «Лианозово» до поселка Северный на Люблинско-Дмитровской линии





Строительство правого перегонного тоннеля между станциями «Лианозово» и «Физтех» Люблинско-Дмитровской линии



Северные порталы тоннелей «Чортановцы» в Сербии

Устройство верхнего строения пути в одном из тоннелей «Чортановцы» в Сербии



Результатом реализации всего проекта станет увеличение скорости на этом отрезке до 200 км/ч, повышение пропускной способности линии и уровня безопасности движения.

– Благодаря Сербскому проекту есть перспективы получить новые зарубежные контракты?

– На различных стадиях находится проработка международных проектов. В числе перспектив можно отметить: сооружение двух автодорожных тоннелей в Белграде, ввод которых позволит разгрузить трафик в сербской столице; реконструкцию Барской железной дороги, соединяющей Сербию и Черногорию и включающей в себя 146 тоннелей, около трети которых находятся уже в аварийном состоянии, а также железнодорожной линии между городами Ниш и Белград на участке Сталач – Джунис, нуждающейся в корректировке участка для ускорения движения поездов.

– В заключение хотелось бы спросить, какой Вы видите компанию Мосметрострой через 10 лет?

– За свою 90-летнюю историю Московский метрострой пережил немало сложных и судьбоносных событий не только для организации, но и в целом для всей страны. Это тяжелейшие годы Второй мировой войны, период перестройки, смена власти страны, нестабильные финансовые времена, пандемия коронавирусной инфекции, однако, несмотря ни на что, мы продолжали строительство столичной подземки, не останавливаясь ни на день. Мы умеем работать в трудные времена, история нашей компании тому подтверждение. Поэтому я убежден, что Мосметрострой и через 10, 20, и даже 30 лет будет продолжать свое дело, дело жизни для десятка тысяч людей, которые с гордостью именуют себя метростроевцами. Мы строили, строим и будем строить лучшее в мире метро!





VIII Международный
строительный форум
и выставка

МВЦ «Екатеринбург-Экспо»
www.forum-100.ru

7 2021
октября

Екатеринбург,
ЭКСПО-бульвар, д.2,
конференц-зал № 3.5

Международная научно-техническая конференция Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели

Основные тематические блоки:

- Проектирование метрополитенов и эксплуатация подземной инфраструктуры в мегаполисах
- Строительство и эксплуатация горных транспортных тоннелей Урала, Сибири и Дальнего Востока
- Применение новейших технологий материалов и конструкций при подземном строительстве
- Научно-техническое сопровождение и опыт подземного строительства

Организатор конференции



www.rus-tar.ru info@rus-tar.ru

Телефоны:

+7 (903) 132-66-72 +7 (495) 608-80-32

Партнеры конференции



ИТОГИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

В. В. Внутских, Тоннельная ассоциация России

Д. С. Конюхов, АО «Мосинжпроект»

А. М. Потокина, АО «Мосинжпроект»

25 мая 2021 г. в конференц-зале отеля «Холидей Инн Москва Сокольники» прошла Научно-техническая конференция «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве», организованная Тоннельной ассоциацией России при участии АО «Мосинжпроект» и компании «ИБТ».

С приветственным словом к участникам конференции обратились председатель правления ТАР, заместитель генерального директора АО «Мосинжпроект» К. Н. Матвеев и научный руководитель ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» проф., д. т. н. В. Е. Меркин.

До начала деловой части конференции председатель правления ТАР К. Н. Матвеев и руководитель Исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедев вручили Свидетельство о членстве в Тоннельной ассоциации России организации ООО «СиАрСиСи Рус» и Благодарность кафедре мостов и тоннелей Института пути, строительства и сооружений РУТ «МИИТ» за многолетнее и плодотворное сотрудничество с Тоннельной ассоциацией России в деле подготовки специалистов для подземного строительства.

Первая часть конференции была посвящена вопросам инженерных изысканий и проектирования при строительстве подземных сооружений. Она включала в себя две группы докладов и открылась сообщением В. В. Власова (ООО «Институт «Тоннельстройпроект»), в котором были отражены особенности организации научно-технического сопровождения проектно-изыскательских работ и горного мониторинга при строительстве транспортных тоннелей глубокого заложения.

В настоящее время сформированы все условия для практической реализации многоуровневой системы горно-геологического



К. Н. Матвеев

мониторинга проходки тоннелей глубокого заложения в сложных инженерно-геологических условиях. Внедрение системы позволяет снизить геологические риски, связанные с недостаточной изученностью горного массива.

Это особенно актуально при выполнении изысканий на больших глубинах и в условиях таких ограничений, как высокая плотность застройки и особо охраняемые природные территории, где невозможно выполнить бурение разведочных скважин



В. Е. Меркин

большой глубины. Внедрение системы позволяет повысить эффективность управления изысканиями, что достигается применением специального комплекса геофизических исследований для изучения больших глубин и проведением специальных работ с разработкой геологических и геомеханических моделей.

Доклад на тему о целях и задачах инженерных изысканий для обоснования проектных решений по реконструкции верхнего строения пути и дренажно-транспортной

К. Н. Матвеев и представитель ООО «СиАрСиСи Рус»



К. Н. Матвеев и А. А. Пискунов (МИИТ)





В. В. Власов (ООО "Институт «Тоннельстройпроект»)



В. П. Полищук (ООО «РСРС ГмбХ Рэйлвэй Инфраструкчер Проджектс»)



А. Г. Полянкин (АО «Мосинжпроект»)



штольни Северомуйского тоннеля представил В. П. Полищук (ООО «РСРС ГмбХ Рэйлвэй Инфраструкчер Проджектс»).

Основная цель проведения изысканий – обеспечение необходимыми, достоверными и достаточными данными для следующего:

- разработки технологических и конструктивных решений реконструкции существующих сооружений тоннеля;
- улучшения условий движения поездов путём реконструкции ВСП и ремонта обделок транспортной части;
- улучшения условий эксплуатации и обслуживания тоннеля.

Предусмотрено выполнение полного комплекса инженерных изысканий согласно СП47.13330.2016, в том числе:

- инженерно-геодезические изыскания и маркшейдерские работы;
- инженерно-геологические изыскания;
- инженерно-геотехнические изыскания;
- инженерно-экологические изыскания;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- инженерные обследования существующих сооружений и инженерной инфраструктуры.

Инженерно-геодезические изыскания и маркшейдерские работы будут проводиться с полной увязкой пунктов государственной геодезической сети, наземной триангуляции

и подземной полигонометрии транспортного тоннеля и притоннельных сооружений, включая вентиляционные стволы. Выполнено воздушно-лазерное сканирование надтоннельной зоны с созданием цифровой модели местности.

Таким образом, созданы предпосылки для высокоточной привязки результатов всех видов изысканий и наблюдений, соимещению их в единой информационной среде и организации, в последующем, удовлетворяющего всем требованиям мониторинга состояния конструкций и вмещающего массива.

Вторая группа докладов была посвящена особенностям применения технологий цифрового моделирования при проектировании подземных объектов.

В докладе В. В. Вязового и А. Г. Полянкина (АО «Мосинжпроект») была представлена информация о первом опыте применения технологий цифрового моделирования на объектах БКЛ Московского метрополитена.

Проектные работы с применением технологий информационного моделирования ведутся при сооружении семи станций Московского метрополитена: («Терехово», «Можайская», «Давыдково», «Текстильщики», «Печатники», «Нагатинский затон», «Кленовый бульвар»).

Работы проводятся в три этапа:

- создание модели со средним уровнем детализации (LOD 200) и отработка коллизий;
- создание модели с высоким уровнем детализации (LOD 400) и проверка объемов работ;
- создание исполнительной модели с высоким уровнем детализации.

Текущие и плановые задачи, решение которых предусматривается с применением технологий информационного моделирования:

- увязка коллизий инженерных сетей между собой и с конструкциями;
- обеспечение оперативности передачи замысла проектировщика на площадку;
- учёт фактически выполненных работ при проектировании;
- повышение точности подсчета объемов при проектировании;
- увеличение точности план-фактного анализа;
- детальная проработка сложных ПОС с учетом зон работ и пространственно-временных коллизий.

Далее с докладом выступил П. В. Чеканов (ОАО «Минскметропроект»), который подробно рассказал об опыте цифровой трансформации предприятия, специализирующегося на проектировании объектов метрополитена с применением технологии информационного моделирования.



П. В. Чеканов (ОАО «Минскметропроект»)

Начиная с 2015 г. ОАО «Минскметропроект» занимается внедрением в своей работе технологий информационного моделирования, позволяющих автоматизировать процессы проектирования и строительства, что в результате позволяет повысить производительность труда участников строительного процесса, снизить сроки реализации проектов капитального строительства, в том числе объектов инфраструктуры транспорта. Для этого в институте был проведен ряд организационных и технических изменений, создана группа информационного моделирования, являющаяся основным информационно-аналитическим центром, ответственным за внедрение перспективных направлений в информационном моделировании, разработку стратегии внедрения BIM, поддержание актуальности корпоративной библиотеки информационных компонентов, координацию междисциплинарного взаимодействия, осуществляющая при

помощи BIM-координаторов контроль «на местах». Развернут инженерный документооборот на основе документооборота на базе «Витрокад», которая должна объединить средства производства и систему управления предприятием. Она же будет являться основой для среды общих данных для взаимодействия всех участников жизненного цикла объекта – заказчик, проектировщик, строитель. Организована система подготовки кадров для работы в условиях широкого применения технологий информационного моделирования.

О. О. Шелгунов (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») рассказал об особенностях математического моделирования аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на высокоскоростных магистралях. Математическое моделирование позволяет прогнозировать и воспроизводить аэродинамические процессы в условиях высокоскоростного движения. Существующие методы и их комбинации являются основным аппаратом исследователей, ставящих разнообразные задачи, однако многие исследования содержат допущения, погрешности, неполноценные зависимости между геометрическими и механическими параметрами тоннеля и высокоскоростного поезда и окружающей среды, что может приводить к недостаточному физическому подобию процессов. Подобные неточности в моделировании и отсутствие отечественных аналогов моделирования являются причинами необходимости проведения эксперимента – исследования аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на ВСМ, взаимодействия многофакторной системы «тоннель – поезд».

Особенностям тоннельной вентиляции и обеспечения противодымной защиты двухпутных тоннелей метрополитена посвятил свой доклад А. И. Данилов (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»).



О. О. Шелгунов (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»)

В настоящее время в ходе проектирования и с учетом имеющегося опыта эксплуатации определены ряд проблем, требующих дополнительной проработки, в том числе:

- окончательно не урегулирован вопрос организации путей эвакуации из двухпутных тоннелей, особенно для поездов, не имеющих сквозного прохода по составу;
- отсутствует возможность регулирования распределения воздушных потоков в вентиляционных сетях метрополитенов;
- не определены критерии эффективности работы тоннельной вентиляции в режиме противодымной защиты;
- отсутствуют методики расчета параметров системы противодымной вентиляции двухпутных тоннелей метрополитенов.

Практический опыт применения результатов инженерно-геотехнических изысканий для численного моделирования грунтовых моделей при определении усилий в железобетонных конструкциях

А. И. Данилов (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»)



В. С. Зубарев (АО «Моспромпроект»)





Д. С. Коныхов (АО «Мосинжпроект»)

бетонной высокоточной обделке изложил В. С. Зубарев (АО «Моспромпроект»).

Вторая часть конференции была посвящена практическому применению современных строительных материалов и технологий, а также научно-техническому сопровождению подземного строительства. Она открылась докладом Д. С. Коныхова и Д. С. Петуниной (АО «Мосинжпроект»), рассказавших о результатах проходки ТПМК диаметром 10 м под действующей станцией «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии и коллектором р. Нищенка.

Согласно разработанной проектной документации, прогнозируемые осадки станции «Печатники» в результате проходки равны 17 мм, коллектора р. Нищенка – 39 мм. Для обеспечения их эксплуатационной надежности был выполнен комплекс следующих мероприятий.

1. Закрытие участка Люблинско-Дмитровской линии на участке от ст. «Волжская» до ст. «Дубровка».

2. Технологический мониторинг и корректировка в режиме реального времени параметров работы ТПМК (давление пригруза, объем разработанного грунта, давление нагнетания и объем тампонажного раствора).

3. Автоматизированный мониторинг планово-высотного положения конструкций станции «Печатники».

4. Геодезические наблюдения дневной поверхности по оси проходки.

5. Научно-техническое сопровождение строительства. В частности, была выполнена верификация результатов численного моделирования по методике отдела НТСС «Мосинжпроект», показавшая, что прогнозируемая осадка ст. «Печатники» составит 7,9 мм, коллектора р. Нищенка – 5,4 мм.

7. Геодезический мониторинг коллектора р. Нищенка.

8. Георадиолокационное исследование и контроль состояния грунтового массива пород вблизи коллекторов р. Нищенка.

9. Межскважинное просвечивание для оценки состояния грунтового массива с прогнозом зон возможных деформаций.

За время проходки была выполнена замена шпал на станции «Печатники».

Реализация этих мероприятий при увеличении скорости проходки с 6 до 10 колец в сутки позволила обеспечить практически безосадочную проходку (фактическая осадка ст. «Печатники» – 7,4 мм, коллектора р. Нищенка – 4,2 мм), не привела к изменению в сложении грунтового массива и дала возможность запустить участок ЛДЛ от ст. «Волжская» до ст. «Дубровка» на девять дней раньше запланированного срока.

Х. П. Йоханнис (ООО «Херренкнехт тоннельсервис») на примере строительства тоннелей для водозабора атомной электростан-

ции в Великобритании рассказал об эффективности применения системы гусеничного хода Caterpillar system.

Ключевая особенность системы Caterpillar system заключается в отсутствии необходимости демонтажа ТПМК после завершения проходки, что позволяет упростить и обесопасить ведение проходческих работ, т. к. система гусеничного хода позволяет как присоединять, так и отсоединять технологические тележки ТПМК за счет установленных гусеничных станций между ними.

С. А. Валуйский и О. Б. Крымов (АО «Мосинжпроект») рассказали об опыте применения искусственного замораживания грунтов «сухим льдом» при строительстве подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях на примере строительства западного участка БЖД, где изначально работы по искусственному замораживанию велись по участкам, в зависимости от мест водопоявления. Однако такой способ не оправдал своей эффективности, и в процессе строительства было принято решение перейти от локальных работ по искусственному замораживанию грунтов к замораживанию всего контура и основания котлована.

Для реализации принятого решения были проведены работы по принудительному затоплению котлована до уровня грунтовых вод, а также работы по установке отсечных стенок и забутке участка левого перегонного тоннеля, который на момент остановки работ по разработке котлована еще не был демонтирован. Осуществление мониторинга движения грунтов, а также контроль состояния ограждающей конструкции котлована и сооружений на прилегающей территории в процессе производства работ по заморозке контуров и основания котлована позволили предотвратить развитие внештатных ситуаций.

Х. П. Йоханнис (ООО «Херренкнехт тоннельсервис»)



С. А. Валуйский и О. Б. Крымов (АО «Мосинжпроект»)





С. С. Зуев (АО «Нью Граунд»)

Об опыте применения струйной цементации для устройства противифльтрационных завес в скальных грунтах при строительстве станционного комплекса «Терехово» рассказал С. С. Зуев (АО «Нью Граунд»). Опыт проведенных работ показал, что струйная цементация имеет определенные преимущества перед традиционными методами заполнительной цементации в трещиноватых и разрушенных до рухляков скальных грунтах в зоне напорных подземных вод. Получаемый в результате такого применения грунтоцементный композит обладает достаточно высокими прочностными и низкими фильтрационными характеристиками, позволяющими использовать его в конструкции горизонтальной противифльтрационной завесы.

Т. Е. Кобидзе и М. Е. Турсунов (АО «Мосинжпроект») рассказали о нормативных из-

менениях СП 120.13330.2012 «Метрополитены» в части требований к проектированию и устройству гидроизоляции для подземных сооружений метрополитенов. Особо отметили, что предложенные технические решения были разработаны для СТО-75-03 АО «Мосинжпроект» «Гидроизоляция подземных сооружений метрополитенов, возводимых открытым и полужакрытым способами работ» и зарекомендовали себя во время их практической реализации.

Предложенные технические решения позволяют решить проблему водонепроницаемости конструкций метрополитенов и надежности применяемых гидроизоляционных покрытий при условии использования инновационных гидроизоляционных материалов.

Далее с докладом выступил А. А. Слабодкин (ООО «Гидропротект»), рассказав о

разработках гидроизоляционных мембран адгезионного типа закрепления, отвечающим требованиям СП 120.13330.2012 «Метрополитены».

К преимуществам гидроизоляционных мембран относятся способность задерживать воду, в случае повреждения гидроизоляционного покрытия, в пределах дефекта, что позволяет предотвратить дальнейшее распространение воды, и возможность ликвидации водопроявления с применением локальных методов восстановления водонепроницаемости.

Д. С. Рауткин (ООО «Маммут Стройматериал») рассказал о технических характеристиках линейки гидроизоляционных свободно укладываемых (предусматриваемых) битумно-полимерных рулонных материалов COLPHENE BSW, исключаящих возможное проникновение воды

А. А. Слабодкин (ООО «Гидропротект»)



Т. Е. Кобидзе (АО «Мосинжпроект»)

Д. С. Рауткин (ООО «Маммут Стройматериал»)



между слоем гидроизоляции и конструкцией, за счет прочного сцепления и сплошной адгезии с залитым конструктивным бетоном.

А. Ю. Глущенко (ООО «РусИнжест») поделился с участниками конференции опытом ремонта подземных сооружений, возведенных в 1950–1960-е гг., где сложность проведения работ была обусловлена наличием стабильного водопритока по всем конструктивным элементам сооружения, в том числе, сквозными протечками через потолок и стены сооружения, рассказав о технологии производства работ и применяемых материалах.

По инициативе генерального партнёра конференции АО «Мосинжпроект» и Тоннельной ассоциации России всем докладчикам в знак благодарности за участие в конференции была вручена изданная в 2021 г. АО «Мосинжпроект» книга «Метро без границ: от рекорда к рекорду» (подарочное издание).



А. Ю. Глущенко (ООО «РусИнжест»)



Вручение книги «Метро без границ: от рекорда к рекорду» докладчикам

После завершения презентации предусмотренной программой докладов состоялась интересная дискуссия по вопросам подзем-

ного строительства, затем участники и организаторы мероприятия выразили благодарность за хорошую организацию работы кон-

ференции модераторам этого мероприятия д. т. н., профессору В. Е. Меркину и д. т. н., профессору И. Я. Дорману.

Модераторы конференции В. Е. Меркин и И. Я. Дорман



Вечером состоялась торжественная церемония награждения лауреатов конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России – 2020 г.». По результа-

там работы за 2020 г. лауреатами конкурса признаны 30 инженерно-технических работников организаций-членов ТАР.

В номинации «Молодые (до 30 лет) инженер-

ные кадры научных, проектных, проектно-конструкторских и строительных организаций» лауреатами конкурса признаны: Д. С. Петунина, П. С. Мильчевский (см. фото) и К. Е. Минин.



В номинации «Инженер года в области проектно-конструкторских работ» лауреата-

ми конкурса признаны: И. О. Исаев, А. В. Патрикеев, Г. Э. Едигаров, Н. А. Маханькова,

Н. А. Рябинников, А. А. Юдин, С. Ф. Селетков (см. фото), а также А. В. Ефремов, И. В. Ильин.



В номинации «Инженер года в области строительства метрополитенов в Российской

Федерации» лауреатами конкурса признаны: А. Д. Амарантов, В. В. Семенихин, Д. Г. Хлопас,

М. Е. Донис, Е. В. Хлопков, В. Н. Кулаков, И. А. Панина, Е. Ю. Соломатин (см. фото),



а также А. Д. Меркулова, В. В. Тишкин, Р. Н. Орёл, Д. С. Любимов, Е. В. Прокопов, Д. А. Бурлаков, А. В. Лебедев, И. И. Антонов.

В номинации «Инженер года в области строительства городских и горных автомобильных и железнодорожных тоннелей» лауреатом конкурса признана А. В. Глазнева.



А. В. Глазнева

В номинации «Инженер года в области строительства инженерных коммуникаций и коммунальных тоннелей» лауреатом конкурса признан И. Е. Стриженков.



И. Е. Стриженков

Торжественная церемония награждения лауреатов конкурса проведена 25 мая 2021 г. в ресторане отеля «Холидей Инн Москва Сокольники». Вручение лауреатам почётных медалей и удостоверений производилось председателем правления ТАР К. Н. Матвеевым, заместителем председателя правления ТАР М. Ю. Бельским, членом правления ТАР А. В. Ершовым.

После завершения торжественной церемонии награждения перед ее участниками и гостями выступил вокально-инструментальный

ансамбль «Белые крылья», начавший свою программу с песни подземных строителей (музыка С. Городенского, слова С. Мазеина), премьеры которой состоялась год назад и была написана к 30-летию Тоннельной ассоциации России:

*«Есть неземное в тех профессиях земных,
Где очень крепок дух традиций вековых,
Когда ведет кураж – в победе над скалой,
Отвоевать метраж, и закрепить забой.
Вести тоннель на свет, работать на грунте –
И слышать сердца стук в крошечной темноте.
Стройки не простые – тоннели для России.
Дружба – наша сила! Прочен наш союз!
Метро, как метроном отстукивает пульс.
Мы строим на века, подземный держим курс!
В тоннелях БАМа – ключ к источникам угля.
Теодолита луч щиты ведет с нуля.
Проходы и хайвэй, тоннельный перегон –
Мы строим для людей, у нас такой закон:
Пусть живет страна в зелёных городах!
Подземка не видна, а улицы – в садах.
Стройки не простые – тоннели для России.
Дружба – наша сила! Прочен наш союз!
Метро, как метроном отстукивает пульс.
Мы строим на века, подземный держим курс!»*

Были также исполнены песенные хиты ВИА 1970–1980-х гг., и на вечере царила ат-

мосфера дружбы и душевной теплоты.

Во второй день Научно-технической конференции (26 мая 2021 г.) для участников мероприятия компанией «ИБТ» была организована техническая экскурсия на строящиеся станции Московского метрополитена «Пыхтино» Калининско-Солнцевской линии и «Зюзино» (Южный участок Большой кольцевой линии).

Экскурсанты ознакомились с процессом строительства участка Калининско-Солнцевской линии от «Рассказовки» до «Внуково», осмотрели место старта тоннелепроходческого комплекса S-218 в сторону ст. «Рассказовка», побывали на разных высотных уровнях ст. «Пыхтино» и у строящегося за ней уникального метромоста.

На станции «Зюзино» экскурсанты осмотрели платформенную часть, где ведутся архитектурно-отделочные работы, побывали на местах монтажа внутренних и внешних инженерных сетей, а также на обратной засыпке станции и на возведении пешеходных выходов.

Участники экскурсии выразили свою благодарность Л. Царевой и Е. В. Хлопкову за содержательные сообщения о ходе работ фирмы «ИБТ» на осматриваемых строительных объектах.



Экскурсия на ст. «Пыхтино»

Экскурсия на ст. «Зюзино»



ПЕРВОЕ 10-летие НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНОГО ЦЕНТРА ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ



В. Е. Меркин, В. Е. Русанов, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»



Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации учрежден в мае 2011 г. по решению правления Тоннельной ассоциации России с целью повышения эффективности, безопасности и надежности сооружений при освоении подземного пространства в метрополитенах и на путях сообщения. Наш Центр уже на протяжении десяти лет:

- осуществляет научные исследования и разработки в области естественных и технических наук; технические, технико-экономические и иные экспертизы и консультации преимущественно в области подземного строительства и эксплуатации подземных объектов;
- проводит инженерные изыскания и проектирование оснований, фундаментов, подземных сооружений, элементов подземных конструкций, их ремонта и реконструкции; строительные, монтажные,

пуско-наладочные работы; испытания, в том числе обследование, контроль качества строительства сооружений, зданий, материалов, конструкций; научное, научно-техническое и инженерное сопровождение проектных, строительно-монтажных и специальных видов работ, обследование подземных и наземных зданий и сооружений;

- ведет разработку государственных и ведомственных нормативных документов по выполнению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- выполняет опытно-экспериментальные работы в лабораторных и полевых условиях, специальные строительно-монтажные работы, в том числе, укрепление грунтов при строительстве и реконструкции наземных и подземных сооружений, усиление бетонных и железобетонных конструкций;

Рис. 1. Примеры транспортных тоннелей, построенных с участием НИЦ Тоннельной ассоциации: а – на автомагистрали «Дублер Курортного проспекта» в Сочи; б – на Крымской железной дороге (Транспортный тоннель в Керчи)





Рис. 2. Примеры отраслевых документов, разработанных с участием НИЦ Тоннельной ассоциации: нормативных (а), стандартов организаций (б), справочно-методических (в)

- осуществляет научное сопровождение проектирования, строительства и реконструкции подземных сооружений по широкому кругу работ и объектов (бетонные, набрызг-бетонные работы и анкерное крепление; гидроизоляционные работы; мониторинг напряженно-деформированного состояния ограждений котлованов, подземных частей зданий, тоннельных конструкций, окружающего грунтового массива), а также технического состояния зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния подземного строительства;

- обеспечивает информационное и патентное обслуживание;

- ведет сертификацию строительных материалов, изделий, конструкций, промышленной продукции в строительстве и др.

Техническое и программное оснащение Центра, наличие необходимых лицензий и аккредитаций позволяют на высоком современном уровне выполнять исполнительские договоры генерального подряда и субподряда, решать задачи научно-технического сопровождения подземного строительства.

К наиболее крупным НИР и ОКР относятся выполненные, в частности, по таким объектам, как участие в строительстве метро в Москве (в том числе ликвидация нештатных ситуаций при строительстве объектов метрополитена, конструкция двухпутных тоннелей метро, технологические регламенты на проходку и т. п.), Новосибирске, Алматы, Минске, Баку, транспортных тоннелей в Москве (например, Алабяно-Балтийский) и других городах, на БАМе, сложных и разнообразных инженерных сооружений в столице (в том числе многофункциональные комплексы на площади Курского и Павелецкого вокзалов) и на территории многих регионов России и других стран СНГ, в том числе подземный железнодорожный переход в московском аэропорту Шереметьево, строительство центральной магистрали г. Сочи «Дублер Курортного проспекта» (рис. 1а), реконструкция, техническое и технологическое перевооружение Российского государственного театра «Сатирикон» имени Аркадия Райкина, Радиотелевизионная передающая станция в г. Екатеринбург (обрушение направленным взрывом объекта незавершенного строительства), новый выезд из г. Уфы на автомо-

бильную дорогу федерального значения М-5 «Урал», железнодорожные подходы к транспортному переходу через Керченский пролив (рис. 1б), проект устранения сверхнормативных деформаций Загорской ГАЭС-2, участие в разработке и внедрении системы автоматизированного мониторинга деформаций зданий и сооружений «Мониторинг ДГН-2» при проходке тоннельных выработок, разработка нормативных документов, стандартов организаций и справочно-методических пособий федерального и регионального уровня (рис. 2).

В числе последних – разработанные впервые по госзаказу и утвержденные руководством Стройкомплекса г. Москвы:

- Технические рекомендации по проектированию двухпутных тоннелей метрополитена, сооружаемых щитами с активным пригрузом забоя;

- Руководство по выбору материалов и технологий для стабилизации забоя и кондиционирования грунта при сооружении тоннелей механизированными щитовыми комплексами;

- Руководство по проектированию и технологии выполнения работ по компенсационному нагнетанию;

- Технические рекомендации по автоматизированному геотехническому мониторингу зданий и сооружений при освоении подземного пространства в г. Москве. Наличие этого документа обеспечило включение системы в Реестр Стройкомплекса и оформление территориального норматива МРР-3.10-20 «Автоматизированный геотехнический мониторинг»;

- Руководство по проектированию бетонных и железобетонных тоннельных обделок с использованием композитных материалов;

- Руководство по строительству подземных сооружений транспортного назначения в условиях карстово-суффозионной и оползневой опасности в г. Москве.

Всего за прошедшие десять лет получено 12 патентов на изобретения, разработано почти 200 технологических регламентов на сооружение и ремонт тоннелей в специфических условиях, 21 отраслевых и территориальных стандартов.

В числе заказчиков, по заданиям которых мы работаем: Стройкомплекс Москвы, НОСТРОЙ, НОПРИЗ, ТАР, Мосинжпроект,

Московский метрополитен, Мосметрострой, Ингеоком и др.

Выполняя функции генерального подрядчика по крупным исследовательским проектам, наш Центр привлекает к совместной работе такие авторитетные профессиональные организации и коллективы как Ленметрогипротранс, МГСУ, НИИОСП им. Н.М. Герсевича, «ГСПИ» ГК «Росатом», ЦНИИС и ряд других.

За истекшее десятилетие выполнено не менее 15 НИР и ОКР, разработана проектно-техническая документация почти по 130 объектам, подготовлены 4 нормативных документа, опубликовано 5 научных монографий и учебных пособий, большое количество статей в научно-технических и производственных журналах, таких как «Основания и фундаменты», «Вестник МГСУ», «Метро и тоннели», «Транспортное строительство», «Гидротехника». Сотрудники Центра приняли участие практически во всех научно-практических форумах профессиональной направленности в Российской Федерации и за рубежом.

В коллективе работают авторитетные и опытные ученые и высокопрофессиональные специалисты с многолетним стажем работы в своей области, молодые инженеры и аспиранты (как правило, выпускники МИИТа, МГСУ, МАДИ-ГТУ, Горного института МИСиС). В составе Центра из почти 70 сотрудников – 3 доктора технических наук и 7 кандидатов технических наук, 4 члена отраслевых академий, 6 профессоров и доцентов, 3 аспиранта. Для решения узкоспециальных вопросов и проведения разовых разработок привлекаются профильные специалисты со стороны – производственники, исследователи, вузовские преподаватели.

Среди сотрудников Центра – лауреаты премий Правительства СССР и РФ, заслуженные строители и работники высшего образования РФ.

Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации за минувшее десятилетие стал не только естественным элементом отраслевого сообщества ученых и специалистов в области подземных сооружений, в первую очередь – транспортных, но и одним из лидеров в своем секторе этой сложнейшей и как никогда актуальной области инженерного дела.

СИСТЕМА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЕКТОВ РОССИИ

М. О. Лебедев, к. т. н., ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Вопросы по обеспечению безопасности при эксплуатации транспортных артерий актуальны во все времена. На виду всегда находятся задачи по обеспечению безопасности движения транспортных средств, водителей, пассажиров и пешеходов и связанные с этим состояние дорог, наличие разделительных полос, мест организованных пешеходных переходов. При этом в тени остаются вопросы, связанные с техническим состоянием искусственных инженерных сооружений, к которым относятся, в том числе и тоннели – автодорожные и железнодорожные.

В тоннелях опять же присутствуют инженерные системы для обеспечения безопасности движения транспортных средств, но не менее важным фактором является техническое состояние несущих конструкций – обделки тоннеля, от которого зависит в целом функционирование транспортного сооружения.

В настоящее время оценка технического состояния транспортных тоннелей осуществляется на основании инструкций и методических рекомендаций. Так, напри-

мер, для автодорожных тоннелей такие работы выполняются на основании [1]. Состав работ по надзору включает визуальные осмотры и геодезическо-маркшейдерские наблюдения состояния конструкций автодорожных тоннелей с заданной периодичностью. Для железнодорожных тоннелей такие работы выполняются на основании инструкции [2], в соответствии с которой выполняются визуальные осмотры с заданной периодичностью. Контрольная нивелировка выполняется один раз в пять лет.

К сожалению, при таком подходе невозможно дать своевременную оценку технического состояния несущих конструкций, а тем более его прогнозировать в силу наличия косвенных факторов, способствующих искажению реальной оценки результатов визуальных осмотров. Как, например, неверная оценка значимости выявленных нарушений, формальный подход к выполнению рутинных задач, возможность доступа при наличии противопожарных конструкций (сплошных экранов по всей длине тоннеля, рис. 1), возможность визуального контроля на значительном расстоянии (размеры поперечного сечения, освещенность), наличие специалиста в области «работы» подземных сооружений (геотехника или геомеханика).

В случае обнаружения дефекта на внутренней поверхности обделки такой контроль не сможет сказать о причинно-следственных связях их возникновения. А это очень важный момент, поскольку если для одной категории нарушений их достаточно затереть ремонтным составом, то в других случаях это может означать необходимость разработки мероприятий по реконструкции сооружения, его усилению. Отсутствие своевременной правильной трактовки в изменении технического состояния сооружения в последующем может отразиться в кратном увеличении затрат на приведение тоннеля в достаточное для эксплуатации техническое состояние.

Ключевым фактором при оценке технического состояния обделки тоннелей и соответственно безопасной эксплуатации является знание фактических параметров напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и вмещающего массива. Это осуществляется путем размещения в обделках специальной контрольно-измерительной аппаратуры.

Инновационной можно считать систему геодинимической безопасности на период эксплуатации, разработанной и реализованной при строительстве тоннелей Совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». Эта система собирает и обрабатывает информацию одновременно с девяти транспортных тоннелей – автодорожные тоннели № 1, № 2 и № 3 и железнодорожные тоннели № 1 – № 6 общей протяженностью подземных выработок около 32,5 км (рис. 2).

Вся контрольно-измерительная аппаратура, размещенная в обделках «Олимпийских» тоннелей подключена к автоматизированной системе геодинимической безопасности, позволяющей контролировать напряженно-деформированное состояние обделки при эксплуатации в режиме реального времени.



Рис. 1. Автодорожные тоннели на участке Адлер – Альпика-сервис: а – тоннель № 1; б – тоннель № 2

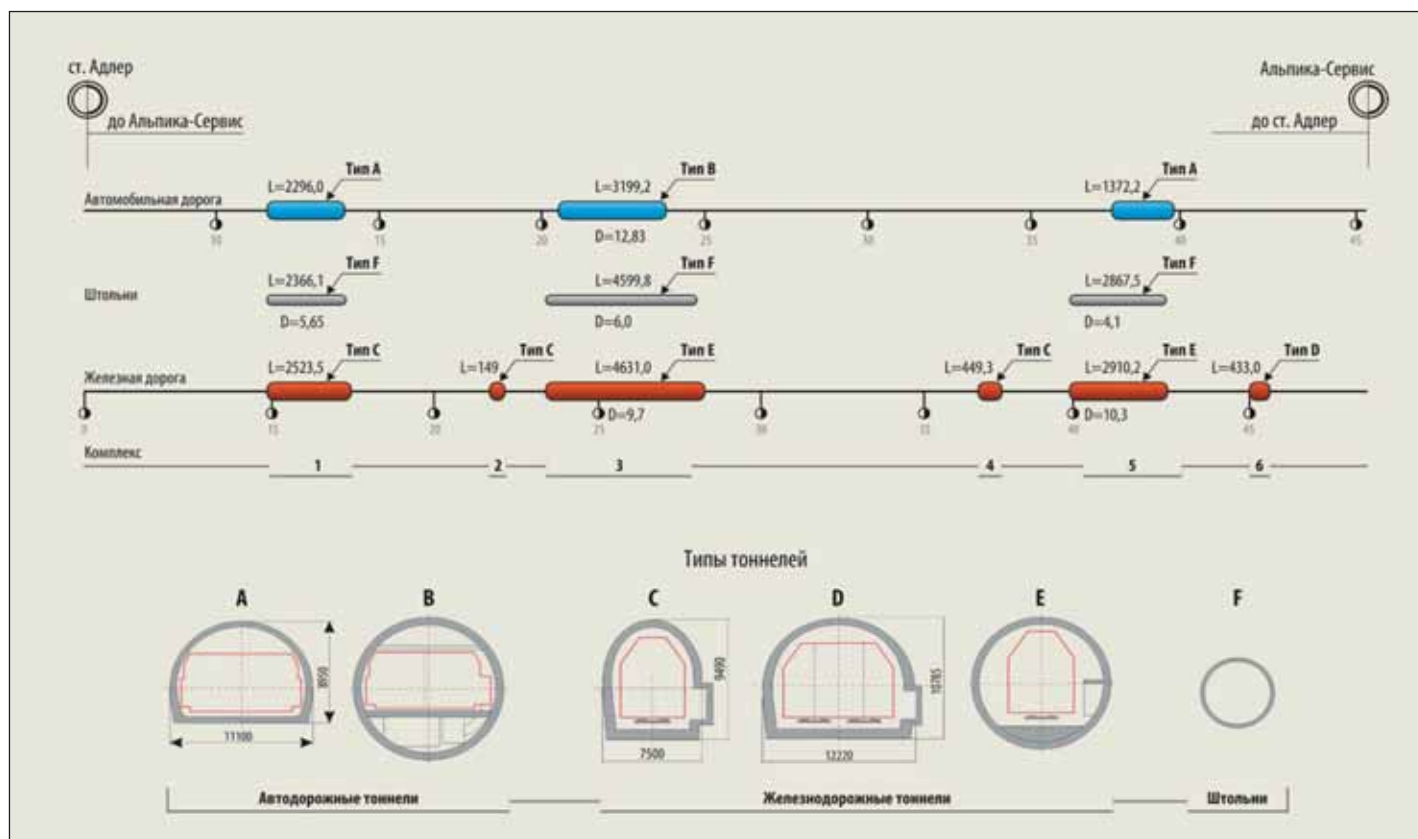


Рис. 2. Схема транспортных тоннелей на участке Адлер – Альпика-сервис

Информация с контрольно-измерительной аппаратуры девяти тоннелей в режиме реального времени поступает на серверы мониторинга в здание диспетчерской по автомобильной дороге и в здание диспетчерской по железной дороге. После обработки поступающих данных информация визуализируется на отдельном АРМе, расположенном на столе перед диспетчером, который осуществляет контроль всех автоматизированных систем безопасной эксплуатации тоннелей.

Эта система включает в себя следующие подсистемы:

- контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) обделок – определение величин нормальных тангенциальных напряжений в обделке и их сопоставление с расчетными величинами и прочностными характеристиками материала обделки; датчики были размещены в обделке при ее возведении, а в сборных обделках при ее изготовлении на заводе;
- оценка напряженно-деформированного состояния системы «обделка – массив» методом ЕЭМИ – регистрация вариаций излучения электромагнитных полей с целью контроля развития геодинамических процессов во времени в зонах разупрочнений;
- сейсмомониторинг – позволяет фиксировать спектральные характеристики сейсмособытий в различных частотных диапазонах – от 0 до 6000 Гц (природного и техногенного характера); ускорения смещений, измеряемые трехкомпонентными акселерометрами, позволяют определить дополнительные величины напряжений в обделке в моменты сейсмособытий и суммировать их с показаниями датчиков НДС обделки; в мо-

менты сейсмособытий на АРМ диспетчера выводятся результаты в баллах по шкале MSK-64.

Главной миссией функционирования системы геодинамической безопасности является заблаговременное информирование владельца сооружений (эксплуатирующей организации) об актуальных и прогнозных угрозах безопасной эксплуатации для тоннелей и раннее предупреждение чрезвычайных (аварийных) ситуаций, связанных с изменением геодинамической и гидрогеологической активности во вмещающем массиве. Это дает возможность заранее разработать мероприятия по приведению сооружений в безопасное состояние.

Полученные на сегодняшний день результаты позволяют отметить, что усилия в обделке через девять лет (семь лет эксплуатации тоннеля) значительно увеличились по сравнению с величинами усилий, которые сформировались через один год после ее возведения. Среди причин такого изменения – перераспределение напряженного состояния между крепью и обделкой, геодинамическое влияние движения поездов на работу системы «обделка – крепь – вмещающий массив». Но самое главное, что система мониторинга позволяет знать о таких изменениях и прогнозировать изменение напряженно-деформированного состояния конструкций.

До 2030 г. в России должны быть реализованы два национальных проекта: «Безопасные и качественные автомобильные дороги» и «Железнодорожный транспорт и транзит». По информации Минтранса РФ второй нацпроект в

рамках Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры будет разбит на три Федеральных проекта.

Под «призмой» законодательной базы РФ (в частности «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 г. № 190-ФЗ и Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений») система геодинамической безопасности при эксплуатации транспортных тоннелей принимает характер обязательного элемента, направленного на обеспечение техногенной безопасности и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Учитывая большую роль развития Восточного полигона железных дорог, в который входит самый протяженный и сложный Северомуромский тоннель, анализ работы автоматизированной системы геодинамической безопасности на тоннелях Северного Кавказа является весьма актуальным для реализации такой системы на тоннелях БАМа и Транссиба, а в последующем – на всей территории РФ.

Уже при проектировании Байкальского тоннеля в 2014 г. в состав сводных Технических условий, согласованных Департаментом капитального строительства ОАО «РЖД», вошел раздел «Автоматизированные системы (АСУ ТП, система геодинамической безопасности)». Сервера этих систем размещаются в г. Иркутске в здании ИВЦ, в диспетчерском пункте ПЧ-24 в г. Северобайкальске и резервном диспетчерском пункте в здании на Восточном портале тоннеля.

Этими Техническими условиями предусматривается возможность последующей ин-



Рис. 3. Байкальский тоннель: а – диспетчерский пункт на дальнем плане со стороны Восточного портала; б – сечение тоннеля



теграции системы геодинамической безопасности с аналогичными системами Мысовых, Коршуновских и Обходных Северомуйских тоннелей.

В 2020 г. строительство Байкальского тоннеля было закончено (рис. 3). Автоматизированные системы, в том числе система Геодинамической безопасности, принимаются в эксплуатацию в 2021 г.

Реализованная современная автоматизированная система геодинамической безопасности имеет практическую и научную ценность, среди которой возможность прогноза технического состояния обделки, оценка воздействия на несущие конструкции сейсмических событий природного и техногенного характера, получение новых научных результатов по взаимодействию несущих конструкций подземных сооружений с вмещающим массивом в условиях эксплуатации.

Для безопасной эксплуатации транспортных тоннелей и прогноза состояния системы «обделка – вмещающий массив» является целесообразным создание аналитического центра по обработке и анализу базы данных систем геодинамической безопасности и геотехнического мониторинга, выполняемого на эксплуатируемых транспортных тоннелях, с целью усовершенствования и оптимизации методологических и технических средств, а также обеспечения безопасной эксплуатации тоннелей.

Список литературы

1. ОДМ 218.3.003-2010 «Методические рекомендации по содержанию автодорожных тоннелей».
2. Инструкция по содержанию искусственных сооружений, утверждённая МПС РФ № ЦП-628 от 28.12.1998 г.

Для связи с автором

Лебедев Михаил Олегович
lebedev-lmgt@yandex.ru





Производство инновационных
минеральных и химических
продуктов

СИНЕРГО

ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Микроцементы MicroBond MC
- Обойменный раствор Бентоцем
- Материалы для компенсационного нагнетания САТгрунд и АПгрунд
- Композиционное минеральное вяжущее Геолит
- Полифункциональные модификаторы SYNERGY
- Акрилатные гели Синакрил
- Полиуретаны СиноПур
- Гидроизоляционная мембрана СиноСил
- Набрызг-бетоны SYNERGY
- Профессиональные ремонтные смеси SYNERGY
- Специальное вяжущее для струйной цементации Geolit Jet
- Тампонажные смеси для контрольного нагнетания

ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

- Высокоактивный метакраолин
- Флюидизированная известь
- Пеногасители SYNERGY
- Глиноземистый цемент
- Гиперпластификаторы SYNERGY PCE
- Расширяющие модификаторы Metadol



реклама

+7 (800) 301-18-07
MINERALPRODUCTS.RU

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НОРМИРОВАНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ОАО «РЖД» НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРО

CURRENT PROBLEMS OF GEOTECHNICAL MONITORING RATIONING FOR RUSSIAN RAILWAYS FACILITIES ON THE SUBWAY CONSTRUCTION

Д. С. Петунина, главный специалист АО «Мосинжпроект»

D. S. Petunina, JSC Mosinzhprojekt

Одной из функций заказчика, в соответствии с СП 48.133330.2019 «Организация строительства», является организация геотехнического мониторинга окружающей застройки при ведении строительных работ. В условиях строительства в плотной застройке г. Москвы этот вопрос является актуальным.

При строительстве объектов метрополитена в зоне влияния работ оказываются инженерные коммуникации, здания и сооружения, объекты транспортного назначения, такие как метрополитен, объекты автодорожной и железнодорожной инфраструктуры.

За всеми сооружениями, попадающими в зону влияния строительства согласно СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», необходимо вести геотехнический мониторинг.

В данной статье рассмотрен вопрос мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры при проходке под ними перегонных тоннелей метрополитена. Проанализированы основные параметры мониторинга и их влияние на стоимость работ.

One of the functions of the customer in accordance with SP 48.133330.2019 «The organization of construction» is to provide geotechnical monitoring of the surrounding development during construction works.

In the conditions of construction in the dense development of the city of Moscow, this issue is relevant.

During the construction of metro facilities, engineering communications, buildings, structures, transport facilities, such as the metro, road and railway infrastructure, are in the zone of influence of construction.

For all structures that fall within the zone of influence of construction according to the Set of Rules 22.13330.2016 «Foundations of buildings and structures» it is necessary to conduct geotechnical monitoring.

In this report, the issue of monitoring railway infrastructure facilities during the passage of underground tunnels under them is considered. The main monitoring parameters and their impact on the cost of work were analyzed.

При строительстве объектов Московского метрополитена перегонные тоннели пересекают большое количество железнодорожных путей разного назначения.

На основании накопленного опыта таких пересечений был сделан анализ 18 точек пересечений по основным показателям.

За основные показатели были приняты:

- геологические условия участка строительства;
- глубина заложения перегонных тоннелей;

Рис. 1. Стоимость выполнения мониторинга железнодорожных путей

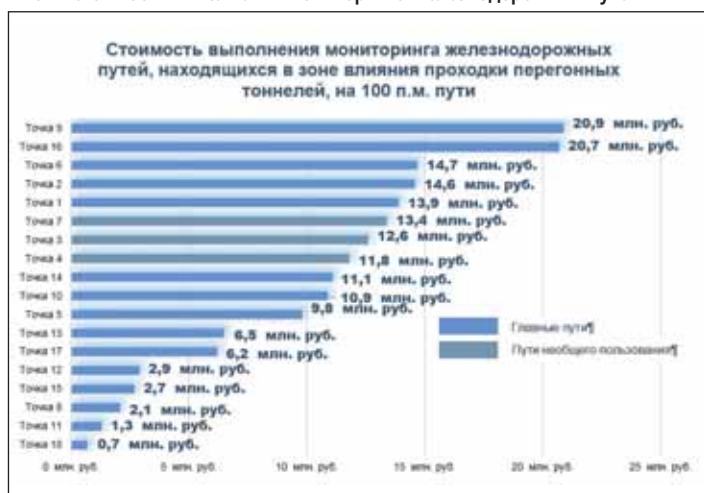


Рис. 2. Стоимость выполнения мониторинга железнодорожных путей за один цикл наблюдений



Таблица 12.1

Объемы, сроки, периодичность и методы	Геотехнический мониторинг			
	вновь возводимых (реконструируемых) сооружений			сооружений окружающей застройки
	оснований, фундаментов, конструкций	ограждающих конструкций котлована	массива грунта, окружающего сооружение	
1. Контролируемые параметры	Таблицы Л.1 и Л.2 приложения Л	Таблица Л.3 приложения Л	Таблица Л.4 приложения Л	Таблицы Л.5 и Л.6 приложения Л
2. Сроки выполнения работ	С начала строительства и не менее одного года после его завершения	С начала экскавации грунта в котловане и до завершения возведения подземной части сооружения	До начала строительства и не менее одного года после его завершения	До начала строительства и не менее одного года после его завершения
3. Периодичность фиксации контролируемых параметров	После возведения каждого 3-5 этажа, но не реже одного раза в месяц	Не реже двух раз в месяц	Не реже одного раза в месяц на этапе устройства подземной части сооружения	Не реже одного раза в месяц
4. Методы	Принимаются в зависимости от объема контролируемых параметров в соответствии с требованиями 12.3			

- расчетная осадка;
- категория пути;
- периодичность мониторинга;
- наблюдаемые параметры;
- количество закладываемых деформационных знаков;
- стоимость выполнения работ по мониторингу.

На стоимость работ влияют все вышеперечисленные показатели. В данной работе был проведен сравнительный анализ зависимости стоимости от выбора методов и объемов работ на различных точках пересечений.

Для начала были сравнены стоимости работ по наблюдению за железнодорожным полотном, находящимся в зоне влияния проходки перегонного тоннеля (рис. 1). Для удобства анализа взята стоимость работ на 100 п. м железнодорожного пути.

Как видно из графика, разница стоимости работ по мониторингу железнодорожных путей на разных объектах может отличаться более чем в 20 раз.

Первым анализируемым показателем будет периодичность наблюдений.

Периодичность наблюдений

Для каждой точки наблюдений была посчитана средняя стоимость одного цикла наблюдений на 100 п. м железнодорожного пути (рис. 2).

В СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» есть рекомендации по выбору периодичности (табл. 12.1)

Однако эта таблица предназначена для мониторинга окружающей застройки при строительстве зданий и сооружений в котлованах. При строительстве объектов метрополитена между станционными комплексами сооружаются перегонные тоннели. Большинство перегонных тоннелей на объектах Московского метрополитена прокладываются с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов. Средняя скорость проходки перегонных тоннелей составляет 250 м/мес (при длине железобетонного кольца 1,4 м – шесть колец/сутки). Зона влияния меняется по мере продвижения забоя, соответственно необходимо выбирать более частую периодичность наблюдений.

В случае мониторинга за окружающей застройкой при проходке перегонного тоннеля в нормативной документации нет требований и рекомендаций. Проектировщики пользуются накопленным опытом и требованиями эксплуатирующих служб ОАО «РЖД».

При анализе рассматривалась периодичность мониторинга при проходке непосредственно под железнодорожным полотном, т. е. в зоне максимальных возможных перемещений.

Периодичность на всех рассматриваемых точках пересечения составляет:

- один раз в кольцо (8 из 18 точек);
- один раз в два кольца (10 из 18 точек).

При этом для путей необщего пользования чаще выбирается периодичность один раз в кольцо, а для главных путей один раз в два кольца (рис. 3).

Стоит отметить, что технические условия, выдаваемые ОАО «РЖД» на разработку проекта пересечения тоннелей метрополитена объектов железнодорожной инфраструктуры, содержат в себе рекомендацию по периодичности наблюдений не менее трех раз в сутки, т. е. при средней скорости проходки 250 м/мес или шесть колец в сутки – один раз в два кольца.

Следующим не менее важным показателем является определение контролируемых параметров и схемы закладки геодезических знаков.

Количество знаков и наблюдаемые параметры

Для каждой точки наблюдений было посчитано количество всех заложенных деформационных знаков на 100 п. м железнодорожного пути (рис. 4).

При мониторинге объектов железнодорожной инфраструктуры по требованиям технических условий, выдаваемых в ОАО «РЖД»,

Рис. 3. Выбор периодичности наблюдений железнодорожного полотна

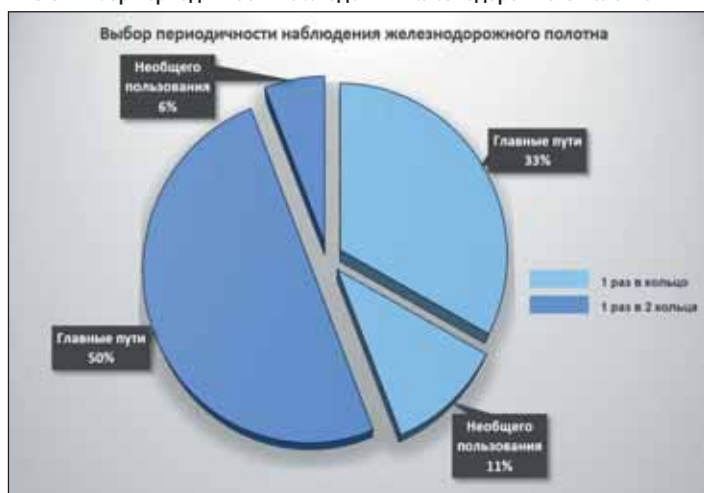


Рис. 4. Количество деформационных знаков для мониторинга железнодорожных путей





Рис. 5. Установка деформационных знаков



Рис. 6. Установка деформационных марок для наблюдения за рельсовыми нитями на одной точке пересечения

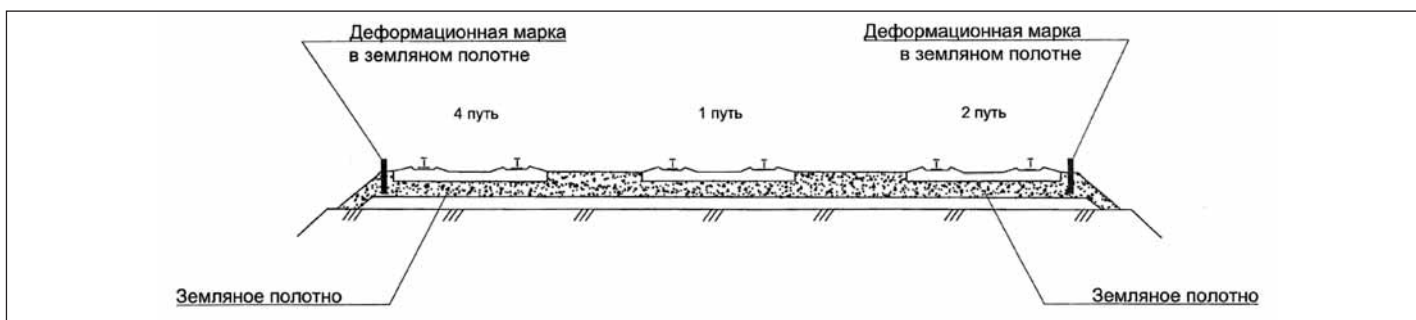


Рис. 7. Схема установки марок в балластную призму и земляное полотно

деформационные знаки должны закладываться (рис. 5):

- в верхнее строение пути по головке рельсов через каждые 5 м;
- в балластную призму через каждые 5 м в шахматном порядке по отношению к маркам, установленным на головке рельсов;
- в земляное полотно с шагом 10 м.

На точках 1 и 2 на конструкции верхнего строения пути были установлены отражатели для проведения плано-высотного измерения в автоматизированном режиме, выполненна обрисовка краской для проведения высотных ручных измерений и наклеена отражательная марка для проведения плано-высот-

ных ручных измерений (рис. 6). Так на одном железнодорожном рельсе одновременно применяются три типа деформационных марок, что ведет к трехкратному удорожанию работ.

На точке 18 деформационные марки установлены в верхнем строении пути с шагом 15 м и в земляное полотно с шагом 15 м. При этом шаг марок соответствует расстоянию между деформационными знаками, рекомендуемому различными методическими пособиями.

В 50 % рассмотренных точек пересечения деформационные знаки закладывались в верхнее строение пути с шагом 5–10 м и в земляное полотно, либо в балластную призму с шагом 5–10 м.

Учитывая, что толщина балластового слоя на железнодорожных путях от 20 до 55 см, а закладываемые знаки имеют длину 100 см, при закладке знаков и в балластную призму и в земляное полотно наблюдаться будет в любом случае земляное полотно (рис. 7).

Анализируя способы измерения деформаций железнодорожного полотна, отмечаем, что в 90 % случаях наблюдения за железнодорожными путями ограничиваются только геодезическими измерениями и в 2 точках из 18 были применены скважинные инклинометры.

При этом, анализируя зависимость стоимости работ за один цикл измерений от ко-

Рис. 8. Зависимость стоимости работ от количества деформационных знаков



Рис. 9. Инженерно-геологические условия залегания перегонных тоннелей

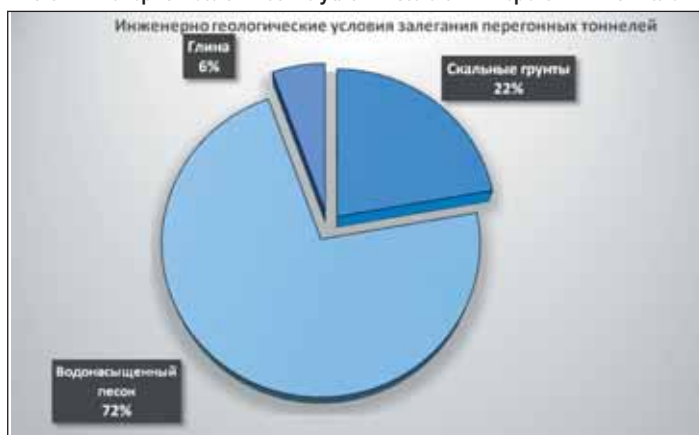




Рис. 10. Стоимость выполнения мониторинга за один цикл

личества деформационных марок, зависимость между этими показателями не прослеживается (рис. 8).

Стоит отметить, что самая высокая стоимость одного цикла мониторинга на графике для путей необщего пользования.

Геологические условия участка строительства, глубина заложения перегонных тоннелей и прогнозируемые деформации

В ГОСТ 24846-2012 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений» даны требования к точности вертикальных и горизонтальных измерений в зависимости от ожидаемого значения перемещения, установленного проектом, и типа грунтов.

Выбор точности наблюдений также скажется на стоимости работ.

В условиях инженерной геологии г. Москвы строительство в основном ведется в водонасыщенных песках (рис. 9).

Классифицируя график стоимости мониторинга за один цикл измерений по типу грунтов, в которых ведется проходка перегонных тоннелей (рис. 10), по глубине заложения перегонных тоннелей (рис. 11) и по расчетным осадкам железнодорожного пути (рис. 12) можно отметить, что стоимость выполнения работ не зависит ни от одного из перечисленных показателей.

Выводы

Проанализировав 18 пересечений объектов железнодорожной инфраструктуры строящимися перегонными тоннелями, можно сделать следующие выводы.

1. Периодичность наблюдений железнодорожных путей не определена нормативными документами, зависит от опыта проектировщиков и требований эксплуатирующих служб ОАО «РЖД».

2. При выборе контролируемых параметров и периодичности наблюдения никак не учитывается категория пути.

3. Для мониторинга верхнего строения пути (головки рельс) используют одновременно три разных типа знака, что приводит к трехкратному удорожанию работ.



Рис. 11. Зависимость стоимости работ за один цикл от глубины заложения перегонных тоннелей



Рис. 12. Зависимость стоимости работ за один цикл от прогнозируемых расчетных осадок железнодорожных путей

4. Закладка знаков и в балластную призму, и в земляное полотно является удвоением объемов работ, так как при длине геодезического знака 100 см наблюдается в любом случае земляное полотно.

5. Стоимость работ не зависит ни от количества закладываемых знаков, ни от периодичности наблюдений, ни от условий строительства (инженерно-геологические условия залегания перегонных тоннелей, глубина заложения перегонных тоннелей и прогнозных величин деформаций пути).

6. В 90 % случаев наблюдения за железнодорожными путями ограничиваются только геодезическими измерениями.

Исходя из проведенного анализа, считаю целесообразным следующее.

1. Использовать наработанный опыт для совершенствования нормативной базы, а именно внести в СП 227.132.6000.2014 «Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями» требования по организации мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры и включить данные СП в Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной

основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30.12.2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

2. Рассмотреть возможность применения иного оборудования для проведения мониторинга.

3. Утвердить единый порядок расчета стоимости геодезических работ, включая наблюдения автоматизированными тахеометрами.

4. Разграничить ответственности сторон (проектировщик, строитель, организация, выполняющая геодезические наблюдения и эксплуатирующая организация) при разработке проектной документации и проведении строительно-монтажных работ.

Ключевые слова

Мониторинг, тоннель, железная дорога, ценообразование, метрополитен, безопасность подземного строительства.

Monitoring, tunnel, railway, pricing, subway, underground construction safety.

Для связи с автором

Петунина Дарья Сергеевна
PetuninaDS@mosinzhproekt.ru

РОССИЙСКАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Г. М. Стафеев, А. Г. Леонов, ООО «Навигатор»



В мае 2021 г. фирма ООО «ТМГ» начала проходку Рублево-Архангельского радиуса Московского метрополитена.

От будущей станции «Проспект Маршала Жукова» в сторону станции «Пресня» стартовал ТПМК французской фирмы NFM диаметром 6,6 м.

Движение щита по проектной трассе обеспечивается с помощью российской системы навигации SN-PA, которая хорошо зарекомендовала себя на щитах фирм Lovat, Robbins, Bessac и российского щита

КТПМ-5,6/6,0 в Санкт-Петербурге при строительстве железнодорожных и коммуникационных тоннелей, а также тоннелей метрополитена. Навигация SN-PA полностью автоматическая и имеет удобный трассовый редактор, позволяющий быстро построить проектную трассу тоннеля и модуль построения клиновидных колец. Показатели хода главных упорных и артикуляционных домкратов передаются в автоматическом виде в систему навигации, а с навигационного инклинометра данные

отправляются в систему управления ТПМК и визуализации параметров.

Российская система навигации SN-PA с 2004 г. широко применяется при строительстве метро в Москве. В 2019 г. шесть ТПМК (40 %) из 14, ведущих проходку в Москве, шли по российской программе навигации, а также один щит – в Санкт-Петербурге.

Для связи с автором

Леонов Александр Григорьевич
leonov1954@mail.ru



ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМЫ СОПЛОВОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОТИВОДЫМНОЙ ЗАЩИТЫ ПРОЕМОВ ПЕРЕСАДОЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

NOZZLE UNIT SYSTEM CAPABILITIES FOR SMOKE PROTECTION OF UNDERGROUND INTERCHANGE PASSAGEWAYS

П. А. Имануилов, к. т. н., Е. К. Левина, к. т. н., Е. А. Савенков, С. А. Молодцова, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»
К. В. Кочарьянц, к. т. н., И. Н. Тисленко, ООО «АРКТОС»

P. A. Imanuilov, PhD, E. K. Levina, PhD, E. A. Savenkov, S. A. Molodtsova, OJSC «SRD&SI «Lenmetrogiprotrans»
K. V. Kocharyants, PhD, I. N. Tislenko, ARKTOS

В статье рассмотрена оптимальная конструкция соплового агрегата для защиты путей эвакуации пересадочного узла станции «Печатники» Московского метрополитена.

The optimum nozzle unit design for escape route protection at the Moscow Metro Pechatniki interchange station is considered in this paper.

Системы противодымной вентиляции являются важным элементом комплекса мероприятий, обеспечивающих условия для безопасной эвакуации пассажиров и персонала при возникновении аварийной ситуации в метрополитене [1, 2].

К системам противодымной защиты, кроме систем дымоудаления, подпора и систем спецпожаротушения относятся противодымные экраны и противодымные шторы, препятствующие распространению дыма на путях эвакуации [3].

Проектное решение разработано для защиты лестничных сходов на путях эвакуации пересадочного узла между проектируемой станцией «Печатники» Большой кольцевой линии и существующей с 1995 г. ст. «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена. Инженерные решения и схема вентиляции проектируемой станции выполнены по концепции ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» для двухпутных тоннелей.

В качестве расчётного сценария рассматривается пожар на платформе существующей ст. «Печатники». Одним из основных требований является недопущение проникновения дыма газозавоздушной смеси в объем пересадочного узла станции, а также сохранение возможности эвакуации пассажиров и персонала через защищаемые проемы. Ввиду технической сложности по усилению существующих систем тоннельной и противодымной вентиляции было предложено применение соплового противодымного агрегата для создания преграды распространению дыма в объем перехода через открытые проемы лестничных сходов. Забор воздуха для агрегата предусмотрен с поверхности.

Аналогичное оборудование, представленное отечественным рынком, предназначено в ос-

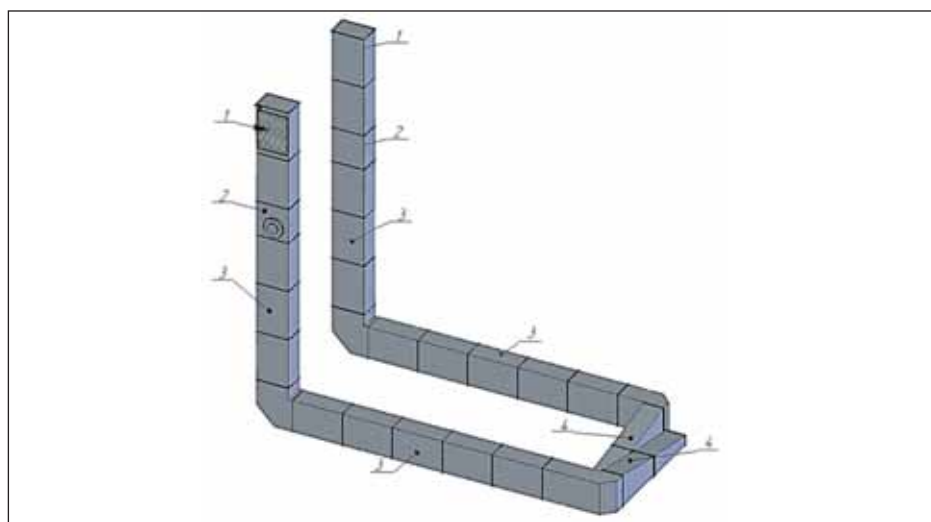
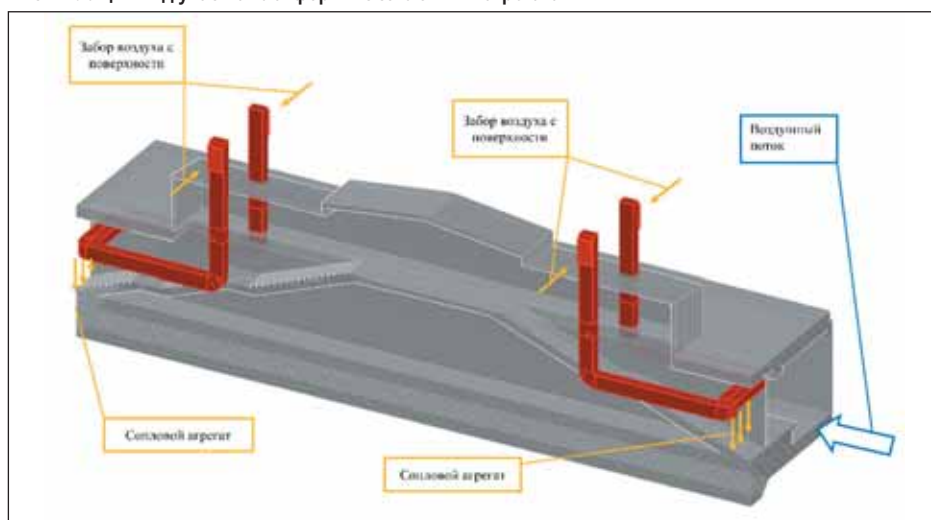


Рис. 1. Принципиальная схема организации воздушной завесы: 1 – воздухозаборная решетка; 2 – вентилятор; 3 – воздуховоды; 4 – воздуховод переменного сечения с соплом

Рис. 2. Общий вид участка платформы с сопловыми агрегатами



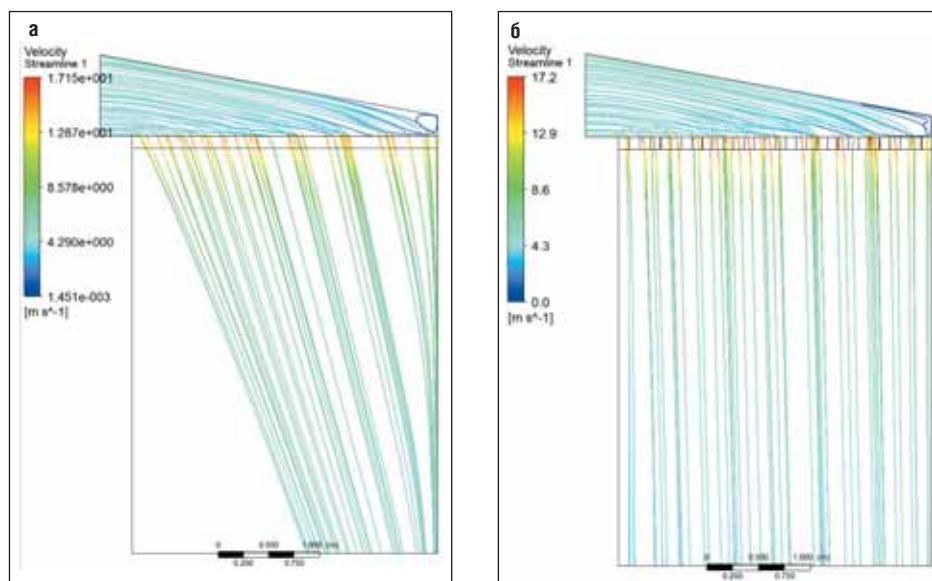


Рис. 3. Линии тока воздуха на выход из конструкции соплового противодымного агрегата: а – первый вариант конструкции со сплошной щелью; б – второй вариант конструкции с направляющими пластинами

новном для наземных объектов и не в полной мере эффективно для подземных сооружений.

На базе воздушной завесы «Щит» ООО «АРКОС» совместно с ЗАО «Арктика» институтом «Ленметрогипротранс» была предложена конструкция, раздающая и формирующая двоярный воздушный поток, при помощи двух независимых установок на проем (рис. 1).

Для подтверждения эффективности вышеописанной установки с помощью программного комплекса численного моделирования процессов гидрогазодинамики и тепло-массообмена Ansys CFX были рассмотрены различные сценарии работы. В ходе моделирования определили конфигурацию сопел противодымных агрегатов и произвели рас-

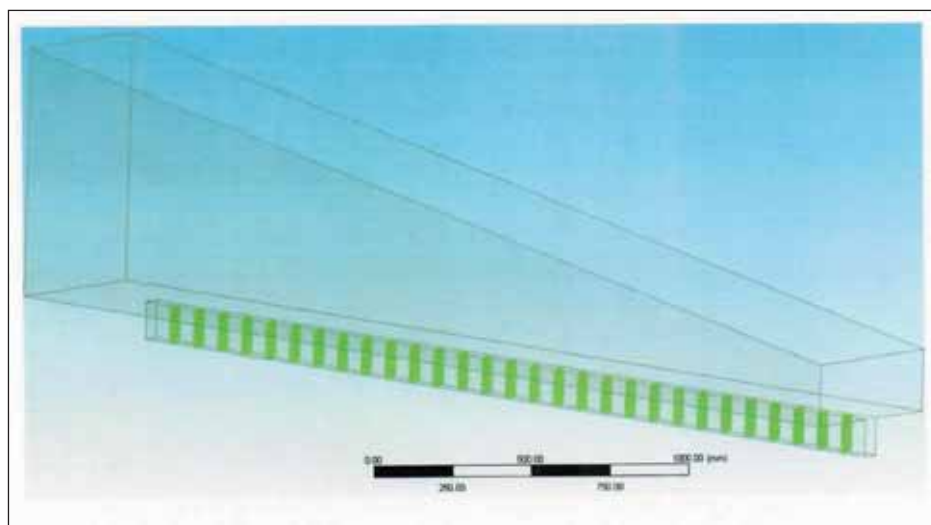


Рис. 4. Расчетная модель второго варианта конструкции агрегата с направляющими пластинами, размещаемыми в сопле

Рис. 5. Расчетная модель станции метро «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии

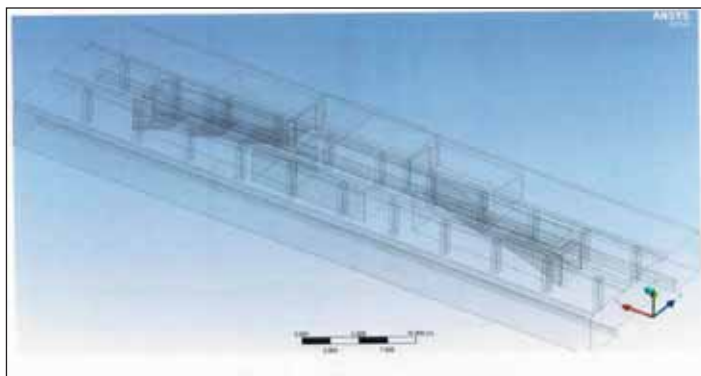
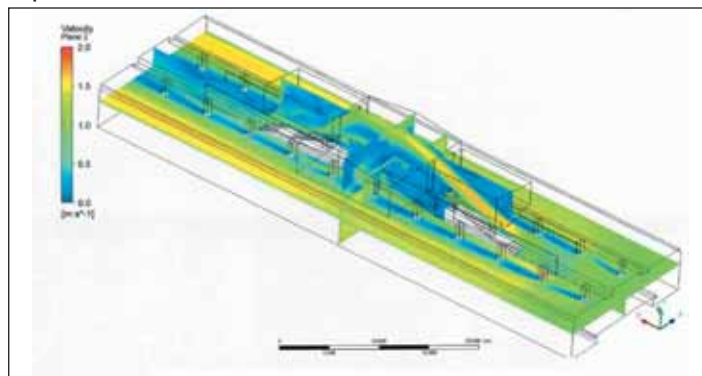


Рис. 6. Поля скоростей воздуха на взаимно перпендикулярных плоскостях. Вариант 1



четы воздухоораспределения при их работе на станции метро «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии [4].

В расчетах использовалась к-ε модель турбулентности, которая является наиболее популярной при решении задач струйных течений. При использовании к-ε модели для расчета течений вблизи стенок, где молекулярная вязкость существенно влияет на характер течения, использовался метод пристеночных функций. Критерий сходимости при решении задавался на уровне 10^{-4} . Расчетная сетка в модели была принята тетраэдральной с инфляцией. Количество элементов составило 18,7 млн.

Целью задачи было определение оптимального конструктива сопла и параметров установки, при которых сохраняется вертикальность воздушного потока.

Сопловые противодымные агрегаты размещаются непосредственно в зоне примыкания лестничных сходов к платформе станции. Общий вид участка платформы станции, лестничных сходов и перехода показан на рис. 2.

На первом этапе работ проводилось численное моделирование соплового противодымного агрегата с целью определения конструкции, обеспечивающей равномерное истечение воздуха. Было рассмотрено два варианта конструкции с различным исполнением выходного сопла.

Для первого варианта рассматривалось сопло со сплошной щелью для выхода воздуха. Из полученных результатов следует, что на истечении наблюдается снос воздушного потока (рис. 3а). Для устранения указанного сноса был смоделирован второй вариант конструкции соплового противодымного агрегата, в котором в сопло добавлены направляющие пластины (рис. 4).

Из результатов численного моделирования второго варианта конструкции агрегата (рис. 3б) следует, что установка направляющих пластин привела к выравниванию движения воздуха на истечении. При этом следует отметить, что скорость воздуха на истечении из сопла на небольшом участке со стороны входного патрубка меньше, чем в среднем по длине щели. Отличие в указанных скоростях на расстоянии 3 м от истечения составляет $\approx 20\%$. Учитывая, что в лестничном проеме будут установлены два сопловых противодымных агрегата на-

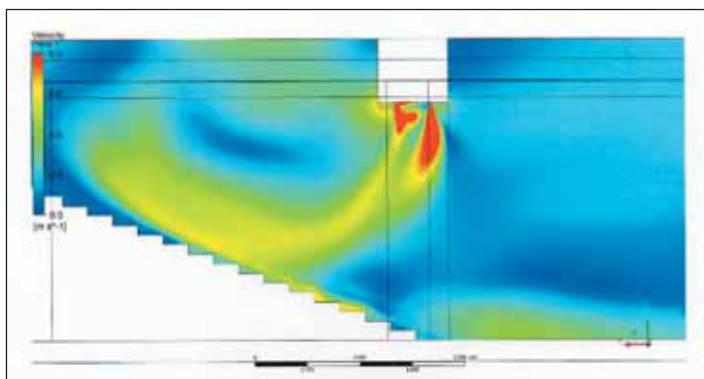


Рис. 7. Поля скоростей на вертикальной плоскости симметрии лестничного перехода. Вариант 2

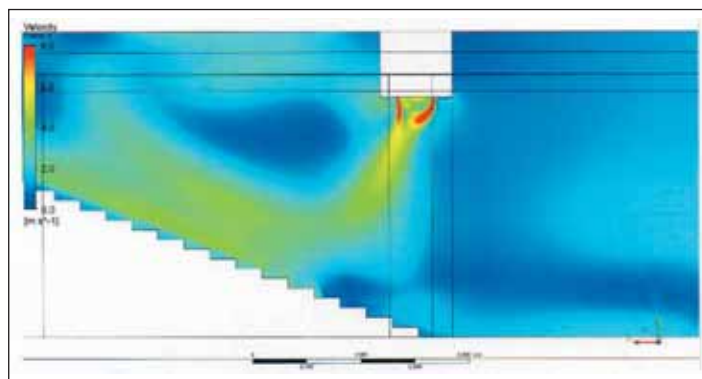


Рис. 8. Поля скоростей на вертикальной плоскости симметрии лестничного перехода. Вариант 3

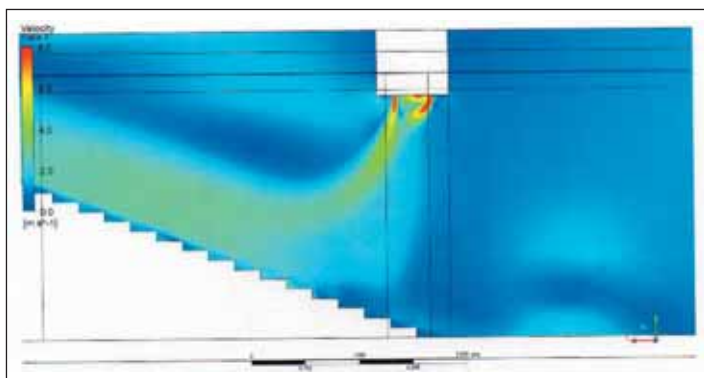


Рис. 9. Поля скоростей на вертикальной плоскости симметрии лестничного перехода. Вариант 4

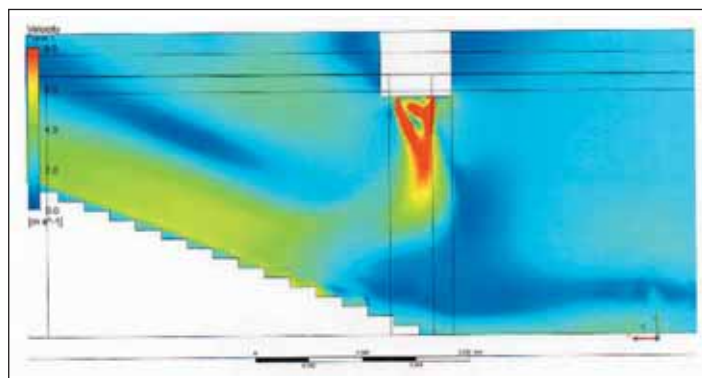


Рис. 10. Поля скоростей на вертикальной плоскости симметрии лестничного перехода. Вариант 5

встречу друг другу, существующее уменьшение скорости с края одного агрегата компенсируется другим агрегатом.

На втором этапе работ было рассчитано воздушное распределение в объеме станции метро, для чего создана расчетная модель (рис. 5). Всего было смоделировано пять вариантов: один вариант без соплового противодымного агрегата (рис. 6) и четыре варианта с четырьмя агрегатами по два над каждым лестничным переходом (рис. 7–10), в которых варьировались значения ширины воздухопускной щели b и объемного расхода воздуха через каждый агрегат L_0 , в результате чего менялась скорость воздуха на истечении из щелей V_0 . Во всех вариантах, кроме пятого, скорость потока воздуха, подаваемого из торца модели вдоль тоннелей, задавалась $V_{\Pi} = 1,0$ м/с, в пятом варианте $V_{\Pi} = 1,5$ м/с:

- вариант 1: без агрегатов $V_{\Pi} = 1,0$ м/с;
- вариант 2: $b = 30$ мм, $L_0 = 9000$ м³/ч, $V_0 = 27,8$ м/с, $V_{\Pi} = 1,0$ м/с;
- вариант 3: $b = 30$ мм, $L_0 = 7000$ м³/ч, $V_0 = 18,5$ м/с, $V_{\Pi} = 1,0$ м/с;
- вариант 4: $b = 50$ мм, $L_0 = 7000$ м³/ч, $V_0 = 11,1$ м/с, $V_{\Pi} = 1,0$ м/с;
- вариант 5: $b = 30$ мм, $L_0 = 9000$ м³/ч, $V_0 = 27,8$ м/с, $V_{\Pi} = 1,5$ м/с.

Из анализа результатов численного моделирования следует, что воздух из агрегатов достигает ступеней лестницы и под влиянием потока воздуха из торца отклоняется от вертикального направления. После столкновения со ступенями лестницы воздух, подаваемый агрегатами, разворачивается в две

стороны вдоль лестницы – вверх и вниз по ступенькам. При этом большая часть упомянутого воздуха движется по направлению потока из торца модели. Чем больше скорость воздуха на истечении из агрегатов, тем большая его часть направляется по ступенькам против потока из торца модели. По результатам моделирования видно, что рассмотренные варианты 3 и 4 (рис. 8 и 9) обеспечивают полное перекрытие проема, при этом с увеличением скорости воздушной струи на входе из щели по вариантам 2 и 5 (рис. 7 и 10) эффективность соплового противодымного агрегата увеличивается.

Выводы

Результаты проведенной работы подтвердили эффективность сдвоенной конструкции сопловых противодымных агрегатов с использованием направляющих пластин, размещаемых непосредственно в сопле и минимального расстояния между соплами в условиях метрополитена.

Для всех смоделированных вариантов производительности и ширины щели использование сдвоенного соплового противодымного агрегата обеспечило условия безопасной эвакуации без проникновения дымовоздушной смеси в защищаемую зону перехода, сохраняя при этом проемы полностью открытыми для эвакуации людей.

Ключевые слова

Метрополитен, противодымная вентиляция, сопловой агрегат.

Subway, smoke ventilation, nozzle unit.

Список литературы

1. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности (с изм. 1–2). – Взамен СП 7.13130.2009; введ. с 25.02.2013.
2. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с изм. N 1–4). – Введ. с 01.01.2013.
3. Маслак В. А. и др. Инновационные решения по повышению безопасности и эффективности эксплуатации двухпутных тоннелей метрополитенов / Маслак В. А., Бойцов Д. А., Гендлер С. Г., Данилов А. И., Левина Е. К. // Подземные горизонты. – 2016. – № 8. – С. 84–87.
4. Отчет по численному моделированию процесса подачи воздуха из соплового противодымного агрегата, установленного в проеме лестничного отсека платформы станции метро «Печатники»: Технический отчет / ООО «АРКТОС». – 2020.

Для связи с авторами

Имануилов Павел Алексеевич
PImanuilov@imgt.ru
Левина Елена Константиновна
ELevina@imgt.ru
Савенков Евгений Алексеевич
ESavenkov@imgt.ru
Молодцова Светлана Алексеевна
SMolodtsova@imgt.ru
Кочарьянц Кристина Владимировна
Kristina@arktos.ru
Тисленко Иван Николаевич
tislen@arktos.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС В СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ

С. С. Зуев, заместитель генерального директора АО «Нью Граунд»

Конструкция и технология устройства котлована при строительстве подземного сооружения открытым способом должны обеспечивать его водонепроницаемость, если невозможно или экономически нецелесообразно водопонижение. При размещении подземного сооружения ниже уровня подземных вод и невозможности заглубления ограждения котлована в водоупор (несовершенное ограждение котлована) широкое применение находит устройство вертикальных и горизонтальных противофильтрационных завес (ПФЗ) вокруг подземной части здания. Как правило, для снижения фильтрации подземных вод по трещинам используется цементация методом заполнения под малым давлением. Но начиная с глубин 10–12 м от поверхности грунта, этот метод является недостаточно эффективным, высокие скорости движения напорных вод приводят к вымыванию смеси.

В статье описывается опыт проектирования и устройства ПФЗ в трещиноватых грунтах с использованием технологии струйной цементации грунтов jet-grouting. Проведенные работы показали, что струйная цементация имеет определенные преимущества перед традиционными методами дополнительной цементации в трещиноватых и разрушенных до рухляков скальных грунтах в зоне напорных подземных вод.

Время и сложившиеся обстоятельства диктуют необходимость перехода от горизонтального к вертикальному зонированию городского пространства, которое способно обеспечить формирование комфортной жилой и производственной среды, на основе глубинно-пространственной организации всей системы объектов [1–3]. К факторам, удорожающим использование подземного пространства, относятся геологические и гидрогеологические условия, усложнение инженерно-конструктивных решений подземных сооружений, стесненность при производстве работ в сложившейся городской застройке [СП 473.1325800.2019 Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования].

Конструкция ограждения котлована при строительстве открытым способом должна обеспечивать устойчивость стен котлована в процессе и после полной разработки грунта и водонепроницаемость в условиях высокого уровня подземных вод. При размещении подземного сооружения ниже уровня подземных вод и невозможности заглубления ограждения котлована в водоупор (несовершенное ограждение котлована) широкое применение находит устройство вертикальных и горизонтальных противофильтрационных завес вокруг подземной части здания [СП 250.1325800.2016 Здания и сооружения. Защита от подземных вод]. Для устройства подобных конструкций наиболее широко применяются струйная цементация грунтов jet-grouting и технология возведения подземных сооружений «стена в грунте» [4–8].

Как правило, устройство подземных частей происходит в рыхлых дисперсных грунтах четвертичного возраста, но с увеличением глубины котлованов все чаще приходится сталкиваться при производстве работ со скальными и сцементированными полускальными грунтами: известняками, песчаниками, аргиллитами и алевролитами. В верхней зоне они залегают в виде отдельных рухляков и сильнотрещиноватых слоев. В этом случае они имеют малую прочность и высокий коэффициент фильтрации подземных вод, достигающий 2–10 м/сут, причем горизонты трещинных вод в большинстве случаев являются напорными.

Одной из основных задач в этом случае является устройство горизонтального противофильтрационного экрана в основании котлована, обеспечивающего восприятие напора подземных вод и ликвидацию притоков воды в котлован.

Как правило, для снижения фильтрации подземных вод по трещинам использовалась цементация методом заполнения под малым давлением (5–20 атм) [9–12]. Но начиная с глубин 10–12 м от поверхности грунта, этот метод является недостаточно эффективным, высокие скорости движения напорных вод приводят к вымыванию смеси. Применение струйной цементации с давлением 350–400 атм позволяет отжать воду из трещин, заполнить их скрепляющей смесью и «замонолитить» трещиноватый массив грунта.

Специалисты-геотехники настороженно относились к использованию струйной цементации в скальных грунтах, но успешный опыт ее применения при строительстве подземных сооружений показал ее эффективность. Таким опытом мы хотим поделиться в этой статье.

Устройство горизонтальной противофильтрационной завесы в скальных грунтах при строительстве станционного комплекса «Терехово» в Москве

Целью работы являлось закрепление струйной цементацией слоя известняков в основании котлована с целью ограничения фильтрации подземной воды и восприятия гидростатического давления, исключения прорыва потока подземных вод при разработке котлована.

Закрепляемый грунт находится в интервале глубин 28–38 м от поверхности и представлен известняками, разрушенными до глыб, щебня дресвы и муки с глинистым заполнителем и известняками, микрозернистыми, сильнотрещиноватыми, малопрочными и средней прочности (рис. 1).

Проектный диаметр зоны цементации составлял 2000 мм, скважины размещались по треугольной сетке 1700×2000 мм, междусеевое расстояние составило также 2000 мм (рис. 2).

Одним из важных моментов выполнения работ было точное достижение зоны цементации рабочим буровым органом (рис. 3). При допустимом отклонении 10 мм на один погонный метр бурения такая точность была обеспечена и контролировалась во время опытно-исследовательских работ и производственного процесса.

При опытных работах подбирался состав скрепляющей смеси и технологические параметры процесса. Механизм действия водоцементной струи на такие слои грунта представляется следующим образом. Под действием высокого давления водоцементная смесь (ВЦС) вырывается из сопла. При этом «струя» после выхода из сопла представляет

собой «цепочку капелек» водоцементной смеси. Разрыв струи и образование «капелек» происходит за счет высокого давления в сопле, трения ВЦС о стенки сопла и движения по полукружности потока воздуха в затрубном пространстве. Реактивный поток ВЦС за счет вращения и подъема колонны воздействует на грунт в различных точках по образующей скважины. Характерным физическим процессом, определяющим зону разрушения грунта, является процесс соударения «капли» ВЦС с массивом грунта и формирование напряжённого состояния в грунте. При превышении динамическим напряжением от удара «капли» предела прочности грунта на сжатие происходит его разрушение с отделением от массива грунта.

В дисперсных грунтах происходит замещение части минеральных частиц цементным раствором, в трещиноватых полускальных грунтах – добавление цементных связей в массив грунта без подъема минеральных частиц [13].

В ходе опытных работ для формирования зоны закрепления проектного диаметра в условиях напорных вод были использованы добавки, снижающие скорость фильтрации воды – бентонит, и ускорители твердения бетона – силикат натрия («жидкое стекло») и хлористый кальций. Бентонит – это высокодисперсный слоистый алюмосиликат, который используется как гелеобразователь, снижающий скорости фильтрации за счет формирования тонкого водонепроницаемого слоя.

При добавлении силиката натрия к воде, идущей на затворение цемента, его сроки схватывания сильно сокращаются. Обусловлено это тем, что в результате химической реакции между щелочным силикатом (жидкое стекло) и составными частями цементного клинкера (гидроалюминат кальция) образуются коллоидные гидросиликат кальция и алюминат натрия. Именно образующийся в составе грунтобетона алюминат натрия является очень сильным ускорителем его схватывания. Кроме того, происходит еще одна реакция – между жидким стеклом и известью, находящейся в цементе, с образованием силиката кальция. Отлагаясь в порах твердеющего камня, силикат кальция придает ему повышенную плотность и водонепроницаемость. Вся совокупность свойств – ускорение схватывания грунтобетона от образования алюмината натрия и пониженная проницаемость порового пространства за счет коагулирующего действия силиката кальция обусловила применение жидкого стекла в качестве добавки для производства работ в зоне с высокими напорами подземной воды [14].

Процессы твердения грунтобетона в раннем возрасте протекают интенсивней и с большей полнотой, когда его температура повышается. Добавка 1 % хлористого кальция от массы цемента, по его влиянию на схватывание цемента, равносильна повышению температуры на 15–20 °С. Таким обра-

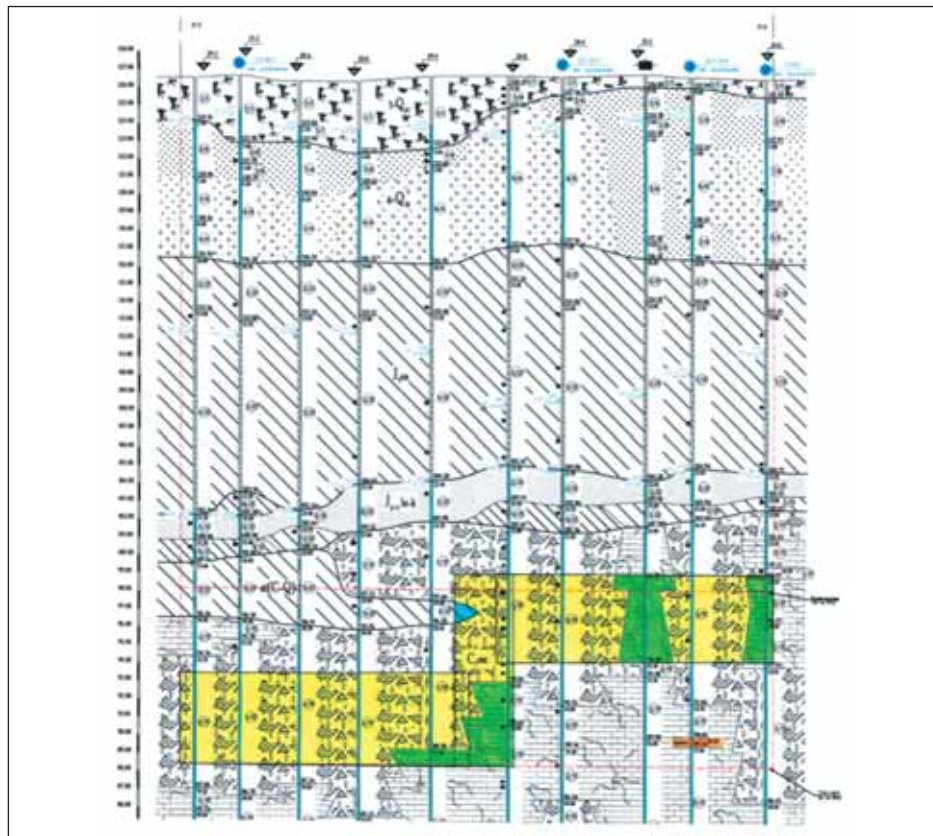


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки строительства

зом, хлористый кальций может быть применен как в работах при нормальных температурах (от +10 °С до +25 °С) для ускорения процессов схватывания и твердения, так и в работах при пониженных температурах (ниже +10 °С). И хотя в обоих случаях он дает значительную интенсификацию процессов схватывания и твердения при пониженных положительных температурах (характерных для грунта), его сравнительная эффективность значительно выше.

Свойства всех добавок реализуются в ходе формирования и начального периода кристаллизации грунтобетонного элемента, дальнейший набор прочности грунтоцементного композита происходит по законам твердения цементного вяжущего [15].

В ходе опытных работ был подобран следующий состав скрепляющей водоцементной смеси: водоцементное отношение – В/Ц = 0,8; цемент марки М500 – с расходом 1200 кг/м³ (764 кг/м³); хлористый кальций (CaCl₂) – до 5 % от массы сухого цемента.

Цементирование выполнялось по двухкомпонентной технологии Jet-2 с подачей воздуха под давлением до 0,8 МПа, скоростью вращения 11 оборотов в минуту и скоростью подъема 1 м за 400 с.

Контроль качества и достаточность законченных работ по цементации устанавливаются путем гидравлического опробования контрольных скважин до и после струйной цементации грунтов [16, 17]. Ко-

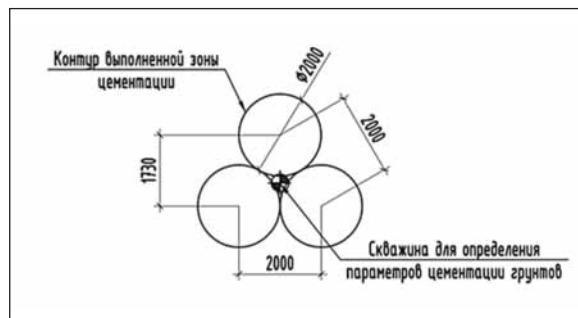
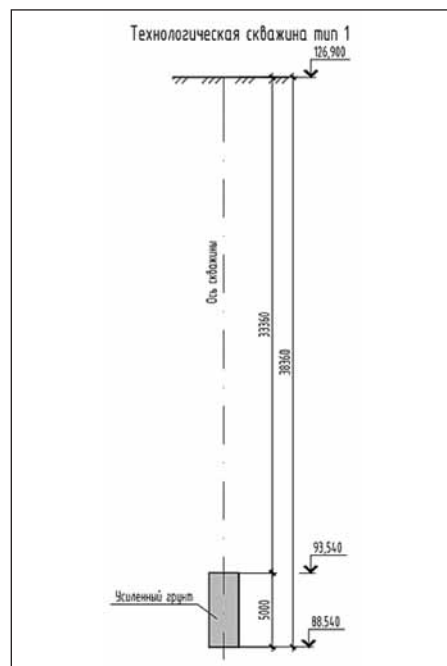


Рис. 2. Схема зоны цементации

Рис. 3. Схема технологической скважины



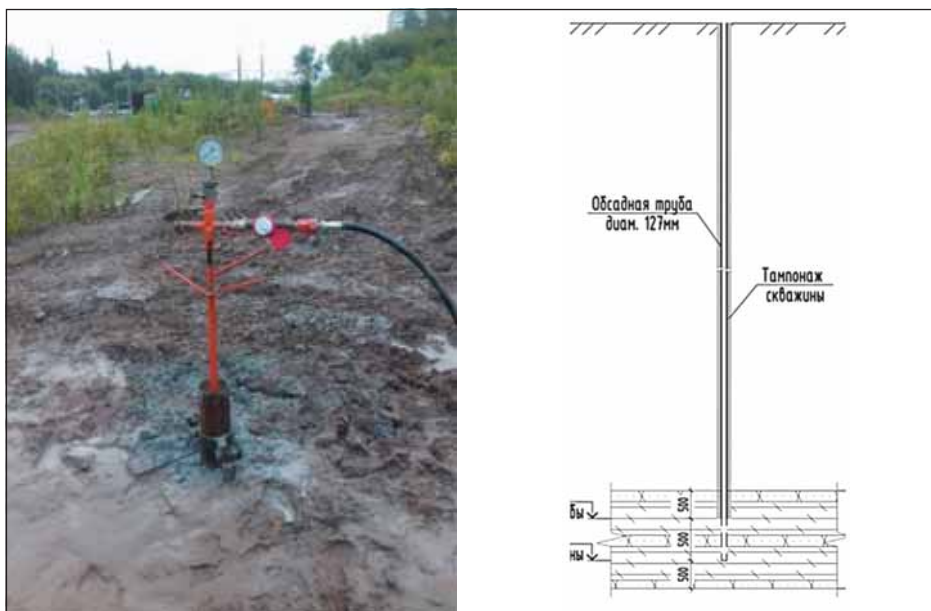


Рис. 4. Конструкция и общий вид опытной нагнетательной скважины

личество контрольных участков составило 18 шт. до производства работ и 30 шт. после их проведения.

Гидравлическое опробование выполнялось методом нагнетания воды в скважину под давлением 1,0 МПа. Конструкция и общий вид опытной скважины представлены на рис. 4.

Нагнетание воды под давлением должно поддерживаться неизменным в течение 10–15 мин после его стабилизации; за это время следует произвести два-три измерения расхода воды.

По результатам гидравлического опробования должно быть определено удельное водопоглощение грунтов:

$$q = \frac{Q}{H \cdot l} \left[\frac{\text{л}}{\text{мин} \cdot \text{м}^2} \right]; \text{ или } \mu = \frac{Q}{P \cdot l} \left[\frac{\text{л/жон}}{\text{м}^2} \right],$$

где: Q – расход поглощаемой воды (л/мин);

H – напор воды в зоне (м);

P – давление воды в зоне (МПа);

l – длина опробуемой зоны (м).

Грунты исследуемой зоны в исходном состоянии имели удельное водопоглощение в интервале 10–25 л/жон, достигая в отдельных точках значения 90 л/жон, что в целом превышало требуемое предельное в 5 л/жон, обеспечивающих защиту от прорыва подземных вод в котлован.

После проведения цементации значение удельного водопоглощения снизилось до величины 0,9–3,5 л/жон.

По результатам опытных работ была разработана схема закрепления грунтов по всему пятну котлована (рис. 5) размерами 81,0×42,0 м и выполнены работы по закреплению грунта.

Гидравлическое опробование в тридцати точках грунтов закрепленной зоны по описанной методике показало, что удельное водопоглощение находится в диапазоне значений 0,5–4,2 л/жон и ни в одной точке не

превышает предельно допустимого значения в 5 л/жон.

После закрепления грунтов струйной цементацией, они представляют собой сплошной экран горизонтальной противофильтрационной завесы и воспринимают по своей нижней плоскости гидростатическое давление воды. В этом случае мы рассматриваем его как прямоугольную пластину, закрепленную по четырем сторонам (границы ограждения котлована), толщиной в зону закрепления, выполненную из грунтоцементного композита. Пластина рассчитывается на прорыв, отрыв от незакрепленного слоя грунта и изгиб.

Для выполнения этих расчетов требуется определение механических свойств грунтоцементного композита [18]. Для этого из закрепленной зоны были выбурены керны и проведены лабораторные исследования прочности на сжатие и растяжение (рис. 6). При цементации происходит только заполнение трещин и пор грунтов закрепляемой зоны, а характеристики вмещающего грунта не меняют своих физико-механических свойств. Поэтому прочностные характеристики закрепленного грунта приняты по наименьшим значениям: прочность на сжатие $R_c = 2,5 \text{ МПа} = 2500 \text{ кПа}$; прочность на растяжение $R_p = R_c \cdot 0,1 = 2,5 \cdot 0,1 = 0,25 \text{ МПа} = 250 \text{ кПа}$.

Для определения напряжений в конструкции ПФЗ, произведен расчет в объемной постановке в программном комплексе Plaxis 3D [19]. В качестве нагружающих факторов учтены объемный вес грунтов и гидростатическое давление воды. Получены следующие результаты: максимальная величина вертикальных перемещений конструкции ПФЗ составляет 30 мм; максимальное значение сжимающих напряжений в конструкции ПФЗ – 560 кПа; максимальное значение растягивающих напряжений – 40 кПа. Поскольку действующие в конструкции сжимающие и растягивающие напряжения не превышают прочности на сжатие и растяжение грунто-

цементного композита (материала конструкции), прочность на сжатие и растяжение обеспечена.

Эффективность устройства противофильтрационной завесы (цементация трещиноватой зоны известняков) определяется временем инфильтрации воды сквозь нее [20]. При напорном градиенте 15 и коэффициенте фильтрации закрепленной зоны $1 \cdot 10^{-6} \text{ м/сут}$ (п. 6.4.6 СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования) скорость фильтрации составляет $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/сут}$. При толщине завесы 5,0 м, время фильтрации составит около 300 тыс. суток или 900 лет, что превышает нормативный срок эксплуатации такого сооружения. Условие защиты подземной части сооружения от проникновения подземных вод выполнено.

Описанные работы были успешно проведены при устройстве станционного комплекса «Терехово» на западном участке третьего пересадочного контура ст. «Нижние Мневники» – ст. «Можайская», что позволило вести работы в котловане без организации мероприятий, связанных с поступлением в него подземных вод и обеспечить требуемую эксплуатационную надежность подземного сооружения (рис. 7).

Выводы

1. Опыт проведенных работ показал, что струйная цементация имеет определенные преимущества перед традиционными методами заполнительной цементации в трещиноватых и разрушенных до рухляков скальных грунтах в зоне напорных подземных вод.

2. Получаемый в результате такого применения грунтоцементный композит обладает достаточно высокими прочностными и низкими фильтрационными характеристиками, позволяющими использовать его в конструкции горизонтальной противофильтрационной завесы.

3. Рецептуры скрепляющего раствора и технологические параметры процесса струйной цементации должны определяться в ходе опытно-конструкторских работ, до накопления статистического материала, позволяющего выявить устойчивые закономерности и разработать рекомендации по применению данной технологии.

Ключевые слова

Трещиноватые скальные грунты; струйная цементация; горизонтальный противофильтрационный экран.

Список литературы

1. Зерцалов М. Г., Конюхов Д. С., Меркин В. Е. *Использование подземного пространства*. М.: Издательство АСВ, 2015. 416 с.
2. Конюхов Д. С. *Основные принципы комплексного освоения подземного пространства при реновации жилой застройки Москвы* // *Метро и тоннели*. 2019. № 2. С. 38–40.

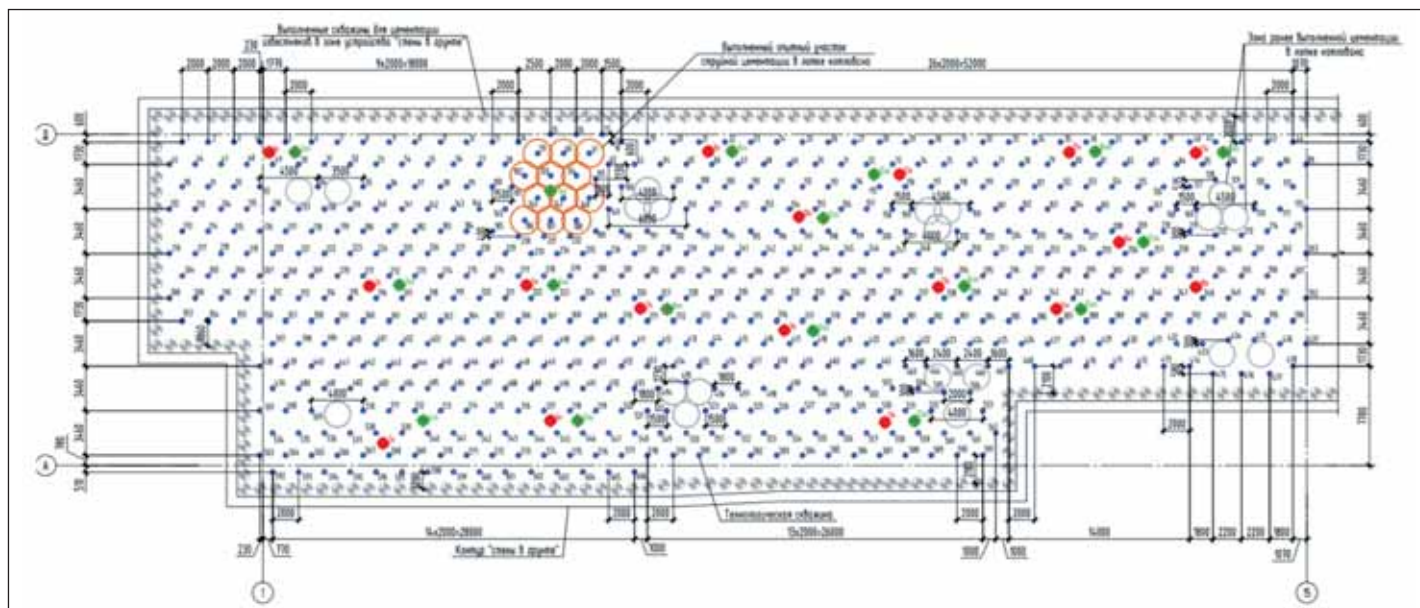


Рис. 5. Схема цементации площадки



Рис. 6. Схема испытания кернов



Рис. 7. Общий вид сухого котлована после экскавации

3. Merkin V., Konyukhov D. Development of Moscow underground space plans, results, perspectives // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp. 663–672.
4. Makovetskiy O., Zuev S. Practice device artificial improvement basis of soil technologies jet grouting // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 165, pp. 504–509.
5. Зуев С. С., Маковецкий О. А. Опыт использования метода «up-down» при строительстве подземной и надземной части здания // *Жилищное строительство*. 2019. № 9. С. 24–30. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-9-00-00>.
6. Henn, Raymond W. Practical guide to grouting of underground structures. American Society of Civil Engineers, 1996. 200 p.
7. Karol, Reuben H. Chemical grouting and soil stabilization / Reuben H. Karol. – American Society of Civil Engineers, 2003. 536 p.
8. Moseley, M. P. Ground improvement. London. 2004. 440 p.
9. Хямляйнен В. А., Майоров А. Е. Новые способы цементационного упрочнения горных пород // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2010. № 10. С. 212–217.

10. Хямляйнен В. А., Майоров А. Е. Особенности течения цементационных растворов при упрочнении трещиноватых горных пород. // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2012. № 10. С. 199–205.
11. Шубин А. А. Моделирование процесса ликвидации подземных пустот в условиях техногенной активизации // *Записки Горного института*. 2013. Т. 204. С. 101–104.
12. Должиков П. Н. Ликвидация водопитов в условиях развития карста / П. Н. Должиков, А. А. Шубин // *Научно-технические проблемы разработки угольных месторождений, шахтного и подземного строительства*: Сб. науч. тр. / Шахтинский ин-т ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: УПЦ «Набл» ЮРГТУ (НПИ), 2005. С. 180–185.
13. Воронкевич С. Д. Основы технической мелиорации грунтов. М.: Науч. мир, 2005. 498 с.
14. Ружинский С. И. Ускорители схватывания и твердения в технологии бетонов // *Популярное бетоноведение*. 2005. № 1. С. 2–76.
15. Нургаллиев Е. И., Майоров А. Е. Реологические характеристики специализированных цементных смесей для комплексной изоляции горных выработок // *Вестник Кузбас-*

- ского государственного технического университета. 2018. № 4. С. 56–64.
16. Гринбаум И. И. О методике и особенностях расходомерических исследований фильтрационных свойств трещиноватых пород в основаниях высоконапорных сооружений. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1970. Вып. 48. С. 125–134.
17. Ильина О. В. Фильтрационная устойчивость заполнителя трещин в скальных породах, определяемая в полевых условиях и в лаборатории. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1970. Вып. 48. С. 149–156.
18. Максимова, И. Н. Структура и композиция: монография / И. Н. Максимова, Н. И. Макфидин, В. Т. Ерофеев, Ю. П. Скачков. М.: Издательство АСВ, 2017. – 400 с.
19. Bull, John W. Linear and nonlinear numerical analysis of foundations. New York, 2009. 465 p.
20. Адамович А. Н. Закрепление грунтов и противофильтрационные завесы. М.: Энергия, 1980. 320 с.

Для связи с автором

Зуев Станислав Сергеевич
s.zuev@inbox.ru



HARDENING SOIL: ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

А. Д. Меркулова, ГК «Моспроект-3»

В. С. Зубарев, АО «Моспромпроект»

На сегодняшний день выбор грунтовых моделей для расчетов тоннельной обделки метрополитена ограничен. Однако специалисты компании «Моспромпроект», входящей в ведущий российский центр инженерных компетенций «Моспроект-3», решили использовать результаты испытаний под грунтовую модель Hardening Soil со смежных станционных комплексов и провести сравнение с моделью Мора-Кулона при расчетах тоннельной обделки. В настоящее время результаты изысканий под грунтовую модель Hardening Soil в компании «Моспромпроект» используют на всех станционных комплексах с котлованами глубиной более 15 м. Владислав Зубарев, начальник геотехнического отдела компании «Моспромпроект», рассказал о сравнении результатов применения инженерно-геотехнических изысканий под грунтовую модель Hardening Soil. По его расчетам, Hardening Soil дает явные отличия от модели Мора-Кулона в сторону уменьшения армирования тоннельной обделки метрополитена. Опыт инженеров холдинга показывает, что использование новых подходов в расчетах и изысканиях может обеспечить существенную экономию материалов ещё на этапе проектирования.

Вместе с глобальным внедрением BIM-технологий идет усложнение технологии проектирования, и появляются более сложные грунтовые модели в геотехнике, в частности при проектировании объектов метрополитена.

Согласно пункту 4 статьи 16 Федерального Закона № 384-ФЗ «Технического регламента о безопасности зданий и сооружений» [1], расчетные модели строительных конструкций и основания, в том числе расчетные схемы и основные предпосылки расчета, должны отражать действительные условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации. При этом нужно учитывать физическую нелинейность.

Физическая нелинейность в работе грунтовой модели – это изменение деформационных свойств грунта при изменении уровня напряжений. Чем глубже он залегает, тем большее напряжение испытывает, тем он жестче и менее деформируем.

Модель грунта, которой геотехники пользовались продолжительное время до появ-

ления в отчетах параметров Hardening Soil (HS), – это модель Мора-Кулона (MC). И она является билинейной, то есть работает линейно с одним параметром деформируемости и имеет критерий прочности, после которого разрушается. Таким образом, ее использование не обеспечивает требований Федерального Закона № 384-ФЗ о нелинейности. Модель Hardening Soil как раз является физически-нелинейной моделью грунта, то есть при различных давлениях она меняет деформационные свойства и подходит требованию Закона.

В соответствии с пунктом 5.6.5.8 Свода Правил СП 120.13330.2011 [2], расчеты тоннельных конструкций следует выполнять методами численного моделирования с использованием нелинейных моделей сплошных сред. Деформационные характеристики грунтового массива при использовании нелинейных грунтовых моделей должны определяться на основании натурных и лабораторных исследований.

Для сравнения результатов по грунтовым моделям HS и MC на примере тестовых за-

дач рассмотрим порядок действий при проектировании тоннеля и сравним полученные результаты, используя результаты испытаний для HS со смежных станционных комплексов. После получения исходных данных, в том числе инженерных изысканий, выполняется расчет железобетонных конструкций обделки и подбор армирования. После анализа результатов инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканий были выбраны два грунта со схожими физико-механическими свойствами, с одинаковым названием и строением, имеющие один и тот же геологический индекс. Различия этих грунтов связано только со статистической обработкой результатов и расположением площадок строительства, на которых они находятся (табл. 1).

Характеристики для грунтовой модели HS были приняты с двух смежных площадок и интерпретированы для перегонного тоннеля. На рис. 1 представлены графики оптимизации с помощью математического моделирования в виртуальной лаборатории Plaxis Soil Test.

Таблица 1

Результаты анализа исходных данных

Геологический индекс	Наименование ИГЭ	Удельный вес грунта, кН/м³	Коэффициент пористости,	Угол внутреннего трения, град.		Удельное сцепление, кПа		Модуль деформаций, МПа	Коэффициент Пуассона, д.е.
				0,85	0,95	0,85	0,95		
K ₁	39А песок мелкий плотный	20,7	0,51	36	36	8	7	36	0,32
	39Г песок мелкий плотный	20,3	0,56	36	36	7	7	38	0,31

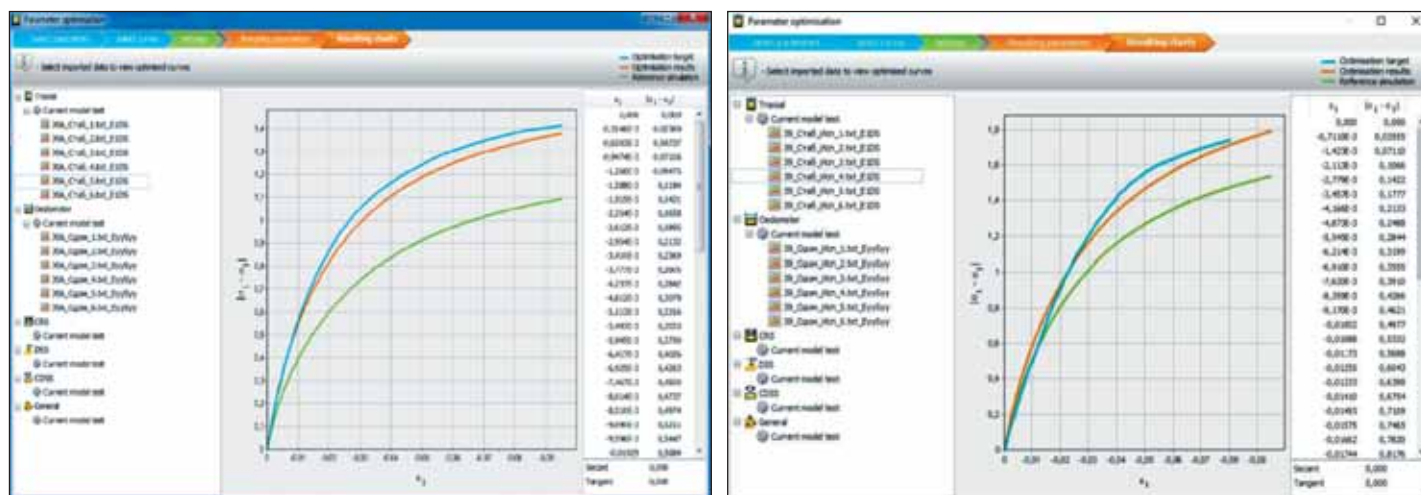


Рис. 1. Оптимизация параметров РГЭ-39А и РГЭ-39Г в виртуальной лаборатории Plaxis Soil test

Лабораторные испытания в стабилометре для грунтовой модели HS были выполнены при боковых давлениях на образец, превышающих природное боковое давление для расчетных грунтовых элементов, вмещающих тоннели, а именно на соответствующих вертикальному давлению или более высоких.

Целями данной работы являлись:

- сравнение результатов расчета внутренних усилий в конструкциях тоннельной обделки при использовании различных грунтовых моделей;
- определение чувствительности результатов расчета от выбора определяющих параметров грунтовых моделей;
- сравнение результатов расчета при изменении условий работы железобетонных конструкций.

Расчеты проводились для двух схожих грунтов, залегающих на двух разных площадках строительства примерно на одной глубине. При моделировании не учитывались внешние нагрузки и грунтовые напластования. Глубина залегания тоннеля выбиралась соответствующей:

- реальной глубине залегания слоя;
- опорному давлению, выбранному для испытания данных грунтов;
- давлению, превышающему давление при испытаниях.

Для чистоты эксперимента в расчетах принимался однородный грунтовый массив. При использовании модели MC учитывалась зона разгрузки под тоннелем.

На рис. 2 представлены графические интерпретации расчетных схем для РГЭ-39А и РГЭ-39Г.

Схемы соответствуют следующим величинам бокового давления грунта:

- для бокового давления равного 250 кПа, что соответствует давлению естественного залегания;
- для давления 500 кПа и 750 кПа для РГЭ-39А и РГЭ-39Г, что соответствует опорному давлению при испытаниях;
- для 750 кПа и 1000 кПа для РГЭ-39А и РГЭ-39Г – превышающее опорное давление при испытаниях.

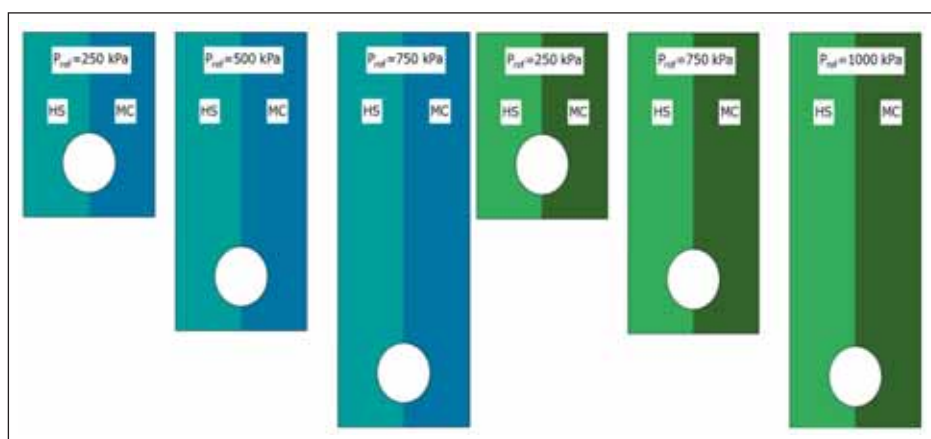


Рис. 2. Расчетные схемы для РГЭ-39А

Расчетные схемы для РГЭ-39Г

Значения максимальных изгибающих моментов для двух грунтовых моделей MC и HS представлены в табл. 2, которая показывает, что на всех трех глубинах в модели HS значения получились меньше, и разница может достигать почти 40 %.

В табл. 3 показаны значения максимальных изгибающих моментов для двух грунтовых моделей MC и HS для РГЭ-39Г. На всех трех глубинах в модели HS значения получились меньше, и разница достигает 33 %.

По результатам выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

- осевое усилие практически не зависит от выбранной модели грунта (разница до 7 %) и возрастает с увеличением глубины;
- максимальный изгибающий момент, полученный в модели HS, всегда ниже по значению, чем в модели MC и возрастает с увеличением глубины;
- характер увеличения изгибающего момента с глубиной в модели HS практически не зависит от выбранного опорного давления;
- для расчетов тоннеля в модели HS при естественном залегании уже свойственна разница получаемых моментов от модели MC порядка 25 %. При заглублении тоннеля соотношение остается таким же.

Таблица 2

Результаты расчетов обделки по моделям MC и HS (РГЭ-39А)

Боковое давление	Усилие	MC	HS	Разница	
250 кПа естественное залегание	M, кНм/м	420,9	311,9	109	26%
	N, кН/м	-2273	-2193	80	3,5%
500 кПа соответствует P _{ref}	M, кНм/м	765,5	504,2	261,3	34%
	N, кН/м	-3895	-3750	145	3,8%
750 кПа превышает P _{ref}	M, кНм/м	1211	741,4	469,6	39%
	N, кН/м	-5876	-5627	249	4,3%

Таблица 3

Результаты расчетов обделки по моделям MC и HS (РГЭ-39Г)

Боковое давление	Усилие	MC	HS	Разница	
250 кПа естественное залегание	M, кНм/м	429,1	420,4	8,7	2%
	N, кН/м	-2143	-2085	58	2,7%
750 кПа соответствует P_{ref}	M, кНм/м	1346	987,9	358,1	27%
	N, кН/м	-5962	-5615	347	5,8%
1000 кПа превышает P_{ref}	M, кНм/м	1843	1246	597	33%
	N, кН/м	-7656	-7434	522	6,6%

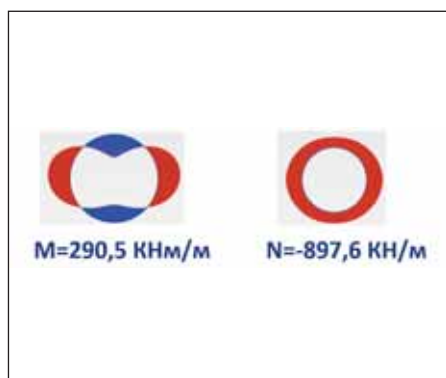


Рис. 3. Результаты расчетов обделки по модели MC



Рис. 4. Результаты расчетов обделки по модели HS

Таблица 4

Сравнение результатов по моделям HS и MC

Параметр	Модель MC	Модель HS	Разница	
Усилия	M = 290,5 кНм/м	M = 232,6 кНм/м	57,9 кНм/м	25%
	N = -897,6 кН/м	N = -959,0 кН/м	61,4 кН/м	6,5%
Армир. на 2 стор.	42 + 42 ст. Ø12	32 + 32 ст. Ø12	10+10 ст. Ø12	32,3%
Вес арм. 1 кол./1000 кол	1,38т/1380 т	1,05 т/1050 т	0,33 т/ 330,0 т	31,4%

Далее сравним результаты по грунтовым моделям HS и MC на примере реального перегонного тоннеля.

На линии вдоль Калужского шоссе в Коммунарку имеются инженерно-геотехнические изыскания, включающее в себя параметры для использования модели HS под станционные комплексы. Геологические условия на станционных комплексах схожи с перегонными. Поэтому для сравнения используем результаты расчетов шестиметровой обделки на перегоне от станции «Улица Новаторов» до станции «Улица Академика Опарина», пользуясь параметрами модели HS со станционных комплексов.

По данным расчетов, полученных по модели MC (рис. 3), результирующие усилия в

обделке тоннеля: слева – изгибающий момент в обделке, справа – осевая сила.

По результатам подбора армирования принимаем, что блоки армируются в две сетки с каждой стороны сечения. Первая сетка из 28 арматурных стержней диаметром 12 мм, вторая – из 14 арматурных стержней диаметром 12 мм. Обделка армируется снаружи и внутри тоннеля одинаково, так как обычно усилия снаружи и внутри схожи по значениям и это проще при изготовлении блоков на заводе. Критическим условием подбора армирования обычно, как и в данном случае, выступает длительная ширина раскрытия трещин. Коэффициент использования здесь составил 0,968.

По данным расчетов, полученных по модели HS (рис. 4), результирующие усилия в обделке тоннеля: опять же, слева – изгибающий момент в обделке, справа – осевая сила. Как видно, значение изгибающего момента упало, а продольной силы возросло, что благоприятно влияет на работу железобетонного сечения. Другими словами, арматуры в конструкции должно быть меньше.

По результатам подбора армирования принимаем, что блоки армируются так же в две сетки с каждой стороны сечения. Первая сетка из 28 арматурных стержней диаметром 12 мм, а вторая – из четырех арматурных стержней диаметром 12 мм, что на десять стержней меньше, чем при использовании модели грунта MC. Критическим условием подбора армирования здесь к тому же является длительная ширина раскрытия трещин. Коэффициент использования составил 0,986. Полученные расчеты представлены в сравнительной табл. 4.

По усилиям разница составила 25 и 6,5 % по моменту и продольной силе соответственно. Армирование на обе стороны сечения отличается на 32,3 % или на десять стержней арматуры диаметром 12 мм с каждой стороны, вес арматуры – на 31,4 %, что составляет 330 кг на одно кольцо, а на 1000 колец – 330 т. Количество колец с таким армированием на перегоне «Улица Новаторов» – «Улица Академика Опарина» составляет порядка 2,5 тысячи штук. То есть на этом перегоне разница составила бы 811,8 т.

На основании выполненных расчетов можно сделать следующие выводы:

- HS позволяет выполнить требования Федерального Закона № 384-ФЗ об учете физической нелинейности;
- HS требует большей квалификации инженеров;
- при проектировании обделки использование HS позволяет снизить армирование от 12 до 32 %;
- чем ближе опорное давление при испытаниях грунта к значению бокового давления, соответствующему природному залеганию грунта, тем больше разница в значениях изгибающего момента между HS и MC, а значит, в армировании блоков обделки.

Ключевые слова

Геотехнические изыскания, физическая нелинейная модель грунта, расчет тоннельной обделки.

Список литературы

1. Федеральный Закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. СП 120.13330.2011 Метрополитены.

Для связи с авторами

Меркулова Анна Дмитриевна
Зубарев Владислав Сергеевич
vzubarev@mospp.ru



Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ
АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



ниц строительство
научно-исследовательский центр



НИИОСП
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

23–25
НОЯБРЯ 2021

МЕРОПРИЯТИЕ ПРИУРОЧЕНО К 120-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Н. А. ЦЫТОВИЧА
И 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С. С. ВЯЛОВА

**IV МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ,
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА
НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ
ГРУНТАХ»**

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
МОСКВА, ХОЛИДЕЙ ИНН СУЩЁВСКИЙ
УЛ. СУЩЕВСКИЙ ВАЛ, 74

Генеральный спонсор
конференции



Спонсоры конференции



реклама

Генеральные информационные партнеры



www.fc-union.com, info@fc-union.com
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ ОБЩИХ ДАННЫХ. ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРОЕКТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

П. В. Чеканов, ОАО «Минскметропроект»



ОАО «Минскметропроект» является генеральным проектировщиком объектов строительства Минского метрополитена, а также постоянно присутствует на проектом рынке Москвы и Российской Федерации. Созданный в 1977 г., за свою 44-летнюю историю Минскметропроект сменил не один способ производства проектной продукции и пришел к технологии BIM. Начиная с 2015 г. на предприятии занимаются внедрением BIM с целью обеспечения специалистов технологией, позволяющей автоматизировать процессы и в результате повысить производительность, снизить сроки выпуска качественной продукции (рис. 1).

Развитие и поддержание технологии информационного моделирования требует постоянных затрат, структура которых складывается из затрат на обучение, разработку новых семейств и плагинов, оплату программного обеспечения, приобретение сетевого и персонального оборудования. В связи с этим на предприятии постоянно поднимается вопрос компенсации этих затрат за счет увеличения стоимости проектных работ по объектам, выполняемым с помощью BIM (рис. 2).

В настоящее время Минскметропроект выполняет «Архитектурный проект» второго участка третьей линии Минского метрополитена (рис. 3). В соответствии с заданием на проектирование, передача проектной документации предусмотрена как на бумажном носителе, так и в виде информационной модели.



Рис. 1. Подготовка персонала ОАО «Минскметропроект», 2018–2020 гг.

Рис. 2. Статьи затрат на содержание BIM-технологии



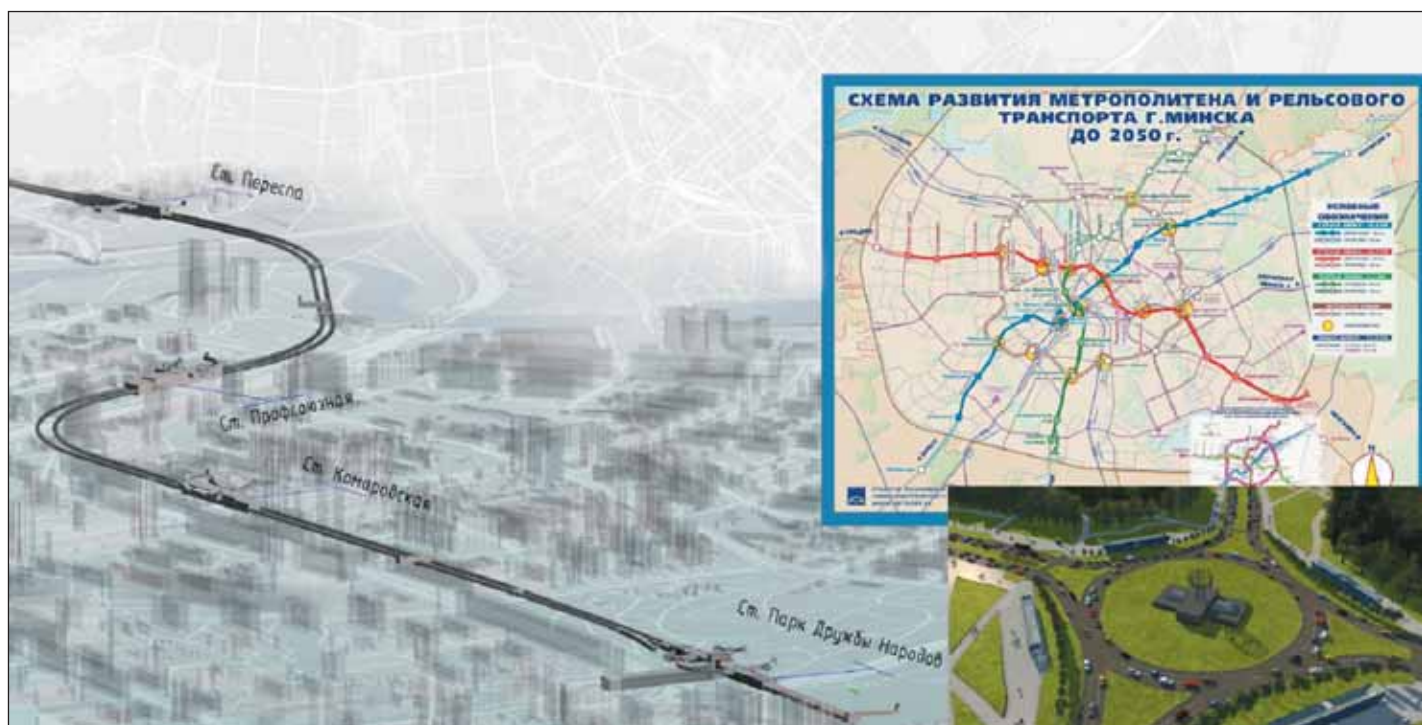


Рис. 3. Второй участок третьей линии Минского метрополитена. 2-я очередь. Стадии «А» и «С»

Для выполнения данной задачи в ОАО «Минскметрострой» был произведен ряд организационно-технических мероприятий. АСУП была реорганизована в отдел ИТ, в рамках которого создана группа ИМ мероприятий. Группа информационного моделирования, являющаяся основным информационно-аналитическим центром, ответственным за внедрение перспективных направлений в информационном моделировании, разработку стратегии внедрения BIM, поддержание актуальности корпоративной библиотеки информационных компонентов, координацию междисциплинарного взаимодействия, осуществляющая при помощи BIM-координаторов контроль «на местах» (рис. 4).

На проекте второго участка третьей линии развернут инженерный документооборот на основе Витрокад, которая должна объединить средства производства и систему управления предприятием, и она же будет являться основой для Среды общих данных (СОД) для взаимодействия всех участников жизненного цикла объекта – заказчик, проектировщик, строитель (рис. 5).

В ближайшее время технология информационного моделирования (BIM) станет единственным инструментом, позволяющим реализовывать сложные объекты капитального строительства, к которым, без всякого сомнения, относится метрополитен.

Ключевые слова

Информационное моделирование, инженерный документооборот, проектирование метрополитена.

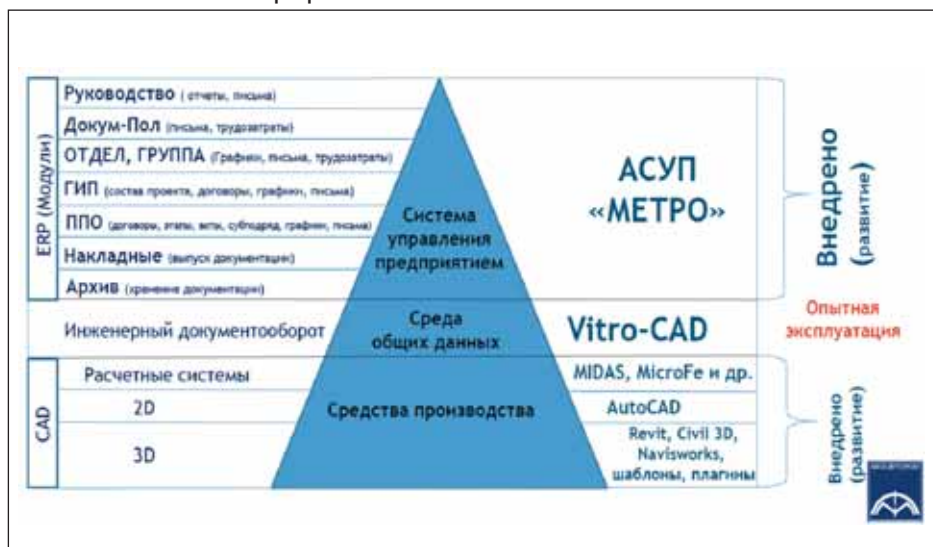
Для связи с автором

Чеканов Павел Валерьевич
metropr@metropr.by



Рис. 4. Изменение подхода к BIM в организации

Рис. 5. АСУП ОАО «Минскметрострой»



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЯХ НА ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЯХ

MATHEMATICAL MODELING OF AERODYNAMIC PROCESSES IN RAILWAY TUNNELS ON HIGH-SPEED HIGHWAYS

А. П. Ледяев, д. т. н., ПГУПС

В. Н. Кавказский, к. т. н., ПГУПС

О. О. Шелгунов, аспирант ПГУПС, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

A. P. Lediaev, Dr. Sci. (Engineering), St. Petersburg State Transport University

V. N. Kavkazskiy, PhD, St. Petersburg State Transport University

O. O. Shelgunov, St. Petersburg State Transport University, OJSC «SRD&SI «Lenmetrogioprotrans»

Исследование аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на высокоскоростных магистралях при отсутствии практического опыта эксплуатации возможно вести с достаточной степенью точности только при помощи математического моделирования. Проведен многофакторный эксперимент, результатом которого является решение оптимизационной задачи по определению площади поперечного сечения тоннеля с учетом аэродинамики. На основании анализа результатов делается вывод о применимости методики к прогнозу аэродинамических воздействий на перспективных тоннельных сооружениях высокоскоростных магистралей и оптимизации геометрических параметров тоннеля.

The study of aerodynamic processes in railway tunnels on high-speed highways in the absence of operation practical experience can be carried out with a sufficient degree of accuracy only with the help of mathematical modeling. A multi-factor experiment was conducted, the result of which is to solve the optimization problem of determining the area of the tunnel cross section, taking into account aerodynamics. Based on the analysis of the results, it is concluded that the methodology is applicable to the forecast of aerodynamic impacts on the prospective tunnel structures of high-speed highways and optimization of the tunnel geometric parameters.

Аэродинамические процессы, возникающие в условиях высокоскоростного движения поездов, делают назначение площади поперечного сечения тоннелей одним из самых ответственных вопросов современного тоннелестроения. Данный параметр существенно влияет на стоимость сооружений, особенно протяженных, соответственно, на целесообразность строительства. В условиях отсутствия опыта проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей на высокоскоростных магистралях (ВСМ) перспективным способом становится математическое моделирование.

Математическое моделирование позволяет прогнозировать и воспроизводить аэродинамические процессы в условиях высокоскоростного движения. Существующие методы и их комбинации являются основным аппаратом исследователей, ставящих разнообразные задачи, однако многие исследования содержат допущения, погрешности, неполноценные зависимости между геометрическими и механическими параметрами тоннеля и высокоскоростного поезда и окружающей среды, что может приводить к недостаточному физическому подобию процессов. Подобные неточно-

Таблица 1

Интервалы варьирования начальных данных переменных для экспериментов

Величины переменных	Интервалы варьирования				
	-1	-0,33	0	0,33	1
V, км/ч	200	266,5	300	333,5	400
S, м ²	55	73	82,5	92	110
λ	1	4	6	8	12

сти в моделировании и отсутствие отечественных аналогов моделирования являются причинами необходимости проведения эксперимента – исследования аэродинамических процессов в железнодорожных тоннелях на ВСМ, взаимодействия многофакторной системы «тоннель – поезд».

Описание методики исследования

В целях обеспечения безопасности геометрические размеры поперечного сечения и конструктивные решения тоннелей должны устанавливаться с учетом минимизации величины избыточного аэродинамического давления, возникающего при входе в тоннель и движении в нем железнодорожного подвижного состава [1].

Целями исследования являются: обоснование параметров поперечного сечения тоннелей на ВСМ в зависимости от скорости движения поездов с учетом аэродинамических процессов, а также определение соответствия геометрических параметров тоннельных сооружений аэродинамическим требованиям.

Трехмерное моделирование многофакторной системы «тоннель – поезд» в условиях высокоскоростного движения с дифференцированными параметрами представляет собой комбинацию из решений внешних и внутренних задач аэродинамики с помощью метода конечных объемов и осуществляется с помощью комплекса SolidWorks в расширении FlowSimulation [2]. Комплекс позволяет анализировать и прогнозировать свойства и поведе-

ние объектов в среде реальных жидкостей и газов. Для расчёта поведения воздушных масс в программной среде к каждому элементарному объёму воздуха применяется система уравнений Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу RANS, для трехмерных нестационарных потоков:

$$\frac{dp}{dt} + \frac{d}{dx_k} (\rho \cdot u_k) = 0$$

$$\frac{d(\rho u_i)}{dt} + \frac{d}{dx_k} (\rho \cdot u_i \cdot \tau_{ik}) + \frac{dP}{dx_i} = S_i$$

$$\frac{d(\rho E)}{dt} + \frac{d}{dx_k} ((\rho E + P) \cdot u_k + q_k - \tau_{ik} \cdot u_i) = S_k \cdot u_k + Q_H$$

где t – время, u – скорость текущей среды, ρ – плотность текущей среды, P – давление текущей среды, S_i – внешние массовые силы, действующие на единичную массу текущей среды, $S_{iporous}$ – действие сопротивления пористого тела, $S_{igravity}$ – действие гравитации, $S_{irotation}$ – действие вращения системы координат, т. е.

$$S_i = S_{iporous} + S_{igravity} + S_{irotation}$$

E – полная энергия единичной массы текущей среды, Q_H – тепло, выделяемое тепловым источником в единичном объеме текущей среды, τ_{ik} – тензор вязких сдвиговых напряжений, q_k – диффузионный тепловой поток; нижние индексы означают суммирование по трем координатным направлениям.

В качестве моделей турбулентности назначены двухпараметрические k – ε модели, где k – удельная турбулентная кинетическая энергия, ε – скорость вязкой диссипации турбулентной кинетической энергии. Данная методика позволяет учитывать различные свойства объектов транспортной инфраструктуры, подвижного состава и окружающей среды, эффективно описывать турбулентные потоки для решения задач аэродинамического взаимодействия многофакторной системы «тоннель – поезд» в условиях высокоскоростного движения.

Перед моделированием аэродинамических воздействий в тоннеле результаты аэродинамического воздействия поезда на открытом пространстве успешно верифицированы, модель откалибрована, показаны её адекватность и применимость к исследованиям с допустимой точностью 15 %. Затем осуществлено моделирование многофакторной системы «тоннель – поезд» в условиях высокоскоростного движения с учётом аэродинамики [3]. Результаты расчетов верифицируются с существующими зарубежными нормативными значениями, а также с аналогичными исследованиями.

Порядок исследования и обсуждение результатов

С целью исследования аэродинамического взаимодействия многофакторной системы «тоннель – поезд» осуществлена серия экспериментов. Исследование включает в себя моделирование прохождения высокоскоростного поезда тоннеля в виртуальной герметичной

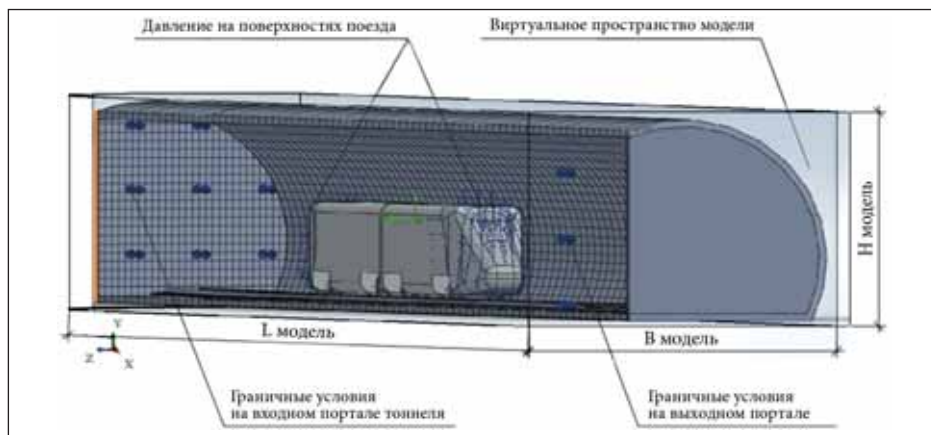


Рис. 1. Виртуальная математическая модель – высокоскоростной поезд в тоннеле

среде при различных начальных условиях: механических и геометрических параметрах системы – скорости движения поезда v , (км/ч), площади поперечного сечения S_{unp} (м²) и длины тоннеля L , (м), приведенной к безразмерному коэффициенту длины λ (отношение длины тоннеля L_{tun} к длине поезда L_p).

В качестве граничных условий были заданы параметры окружающей среды, а именно: температура (T°) 293 К, давление (P) 101325 Па, плотность (ρ) 1,204 кг/м³, кинематическая вязкость (ν) $1,5 \times 10^{-5}$ м²/с, динамическая вязкость (η) 18,1 мПа·с. Выбрана модель k – ε турбулентности со значениями $k = 1$, $\varepsilon = 1$. Модель поезда – элемент *realwall*, шероховатость (μ) 6,0 мкм. Модель тоннеля – элемент *realwall*, шероховатость (μ) 25,0 мкм.

Исследования проведены в соответствии с оптимальным планированием эксперимента с уровнем доверительной вероятности равным 0,95. В табл. 1 приведены условия экспериментов: скорость движения поезда (интервал определен условиями высокоскоростного движения поездов), площадь поперечного сечения тоннеля (интервал определен рекомендуемыми значениями в СТУ и существующими рекомендациями и исследованиями), коэффициент длины (интервал определен в соответствии с рекомендациями и исследованиями как наиболее влияющий на величину аэродинамических воздействий).

Математическая модель многофакторной системы «тоннель – поезд» представляет собой верифицированную виртуальную модель высокоскоростного поезда и однопутное тоннельное сооружение с возможностью варьирования геометрических параметров (рис. 1). Тоннельное сооружение моделируется как объект инфраструктуры с жестким безбалластным основанием, конструкция тоннеля представляет собой постоянную сборную блочную обделку толщиной 350 мм, внутреннее обу-

стройство воспроизведено в минимальном количестве, так как цель исследования – проанализировать аэродинамическое давление на поверхность обделки.

Анализ результатов исследования включает в себя их верификацию с решениями, полученными другими исследователями [4], и нормативными значениями. Для проверки принятой модели, её калибровки были проведены исследования с начальными данными, соответствующими начальным данным решений определенных задач аэродинамического взаимодействия высокоскоростного поезда. Начальные условия: скорость движения поезда $v = 350$ км/ч, площадь поперечного сечения $S_{unp} = 75,0$ м², коэффициент длины $\lambda = 5$. Такой подход позволяет на начальных этапах моделирования отладить модель многофакторной системы «тоннель – поезд» во избежание дальнейших ошибок: они могут привести к значительным временным затратам.

В табл. 2 приводится сравнение результатов решений задач аэродинамического взаимодействия с результатами исследования (решение 3 соответствует описываемому в работе методу). Показана достоверность качественной картины исследуемых явлений и количественная сходимость в рамках принятого значения доверительной вероятности, что подтверждает работоспособность модели и возможность её полноценного применения для исследования аэродинамического взаимодействия многофакторной системы «тоннель – поезд».

Представлены некоторые результаты решения задач, а именно: картины и эпюры таких величин, как амплитуды перепадов давления, аэродинамическая нагрузка на обделку тоннеля, а также характеристики воздушного потока (рис. 2, 3, 4).

Сходимость количественных параметров физических явлений была доказана графиче-

Сравнение полученных при моделировании прохождения тоннеля поездом со скоростью результатов

Таблица 2

Измеряемый параметр	Методы решения		
	Решение 1	Решение 2	Решение 3
Амплитуда статического давления, Па	2820/100 %	2601/–7,8 %	2935/+4,1 %
Пиковое давление, Па	6710/100 %	6922/+3,2 %	6415/–4,4 %

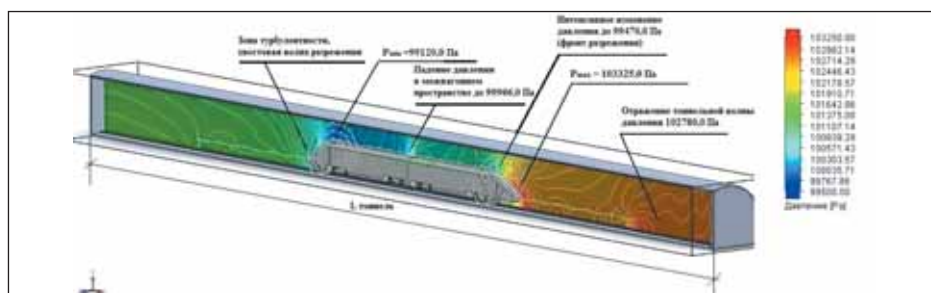


Рис. 2. Результирующая эпюра давления потока в тоннеле при движении поезда со скоростью 333,5 км/ч

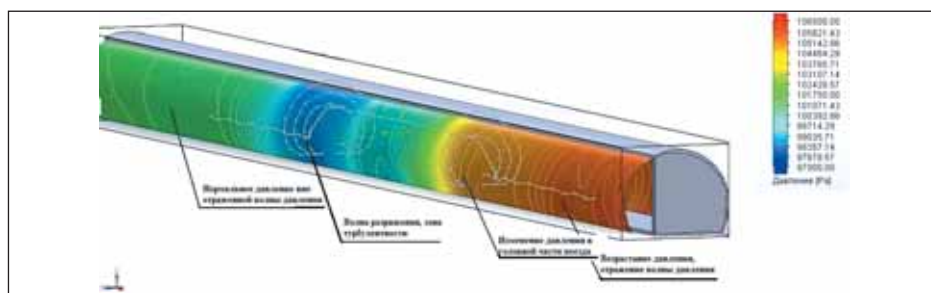


Рис. 3. Результирующая эпюра давления потока на тоннельную обделку при движении поезда со скоростью 333,5 км/ч

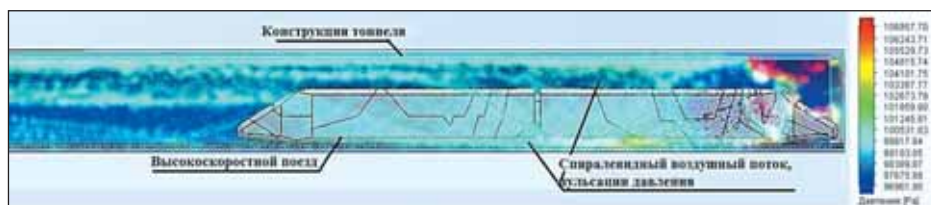


Рис. 4. Завихрение воздушного потока в спирали, создающее пульсации давления

ской интерпретацией результатов: сравнение величин значений давления показало удовлетворительную сходимость до 12 %, что считается приемлемым в области аэродинамических исследований. Таким образом, определена адекватность модели и многофакторной системы «тоннель – поезд».

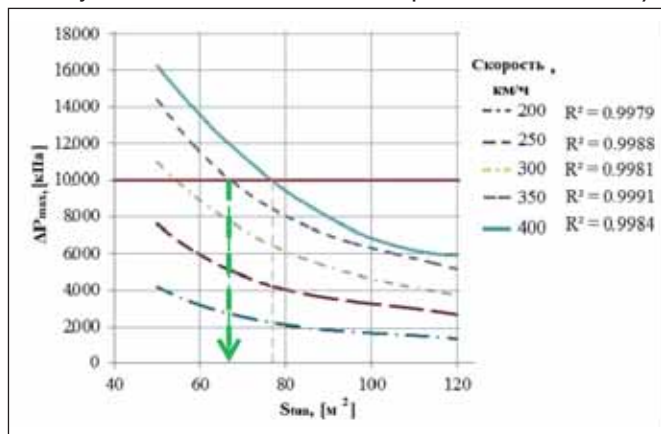
Возможная избыточность величины площади поперечного сечения тоннеля в свету в условиях высокоскоростного движения поездов ведёт к удорожанию строительства, с учетом соблюдения всех стандартных требований к сооружениям ее следует устранить. Критерием задачи назначена минимальная площадь поперечного сечения тоннеля в све-

ту при максимальных эксплуатационных скоростях движения поезда с учетом соблюдения критериев безопасности и аэродинамики (ограничение верхнего значения допускаемого перепада аэродинамического давления).

В качестве характерных зависимостей приведен график влияния механических параметров исследуемой системы на геометрические, тем самым показана степень взаимосвязи параметров системы (рис. 5). На рис. 5 показано уменьшение давления с увеличением площади поперечного сечения тоннеля при различных скоростях движения поезда. Значение R^2 соответствует величине достоверности аппроксимации, тем самым отмечена достаточная точность построенных зависимостей.

Критерием сравнения выступают требования по безопасности [5], по которым, как показано в исследовании, критерий безопасности перепада давления в 10 кПа, указанный в технических условиях РФ. Он не может быть нарушен для всего диапазона исследуемых скоростей движения поезда, однако влияет на определяемый оптимизируемый параметр площади поперечного сечения тоннеля.

Рис. 5. Зависимость аэродинамического давления в тоннеле от площади поперечного сечения и скорости прохождения поезда (сплошной красной линией указан максимальный безопасный перепад давления в тоннеле)



Так, при движении поезда в тоннеле со скоростью $v_{tr} = 350$ км/ч, для соблюдения критерия безопасности по перепаду давления $\Delta P \leq 10$ кПа следует определять оптимальную рабочую величину площади поперечного сечения тоннеля $S_{норм}$, примерно 65,0 м².

С точки зрения рекомендаций по нормированию технических параметров тоннельного сооружения такие зависимости могут носить существенный практический характер, этим определена перспектива дальнейших исследований.

Выводы

Решение задачи оптимизации станет шагом к назначению практических рекомендаций по назначению технических характеристик системы и тоннельного сооружения, а подтверждение экспериментальным путем и верификация результатов позволяет успешно назначать технические параметры с помощью многофакторной системы «тоннель – поезд». При этом снижение затрат на строительные капиталовложения и текущее содержание объекта инфраструктуры может составить до 25 % при заданных технических характеристиках.

Ключевые слова

Железнодорожные тоннели, высокоскоростные магистрали, аэродинамические процессы, площадь поперечного сечения тоннеля.

Railway tunnels, high-speed highways, aerodynamic processes, the tunnel cross section.

Список литературы

1. СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные.
2. Применение функционала Flow Simulation для аэродинамических расчетов высокоскоростного подвижного состава / Я. С. Ватулин – Санкт-Петербург: ПГУПС (Петербургский государственный университет путей сообщения), 2017. – 32 с.
3. Шелгунов О. О. Применение приложения SolidWorks FlowSimulation для моделирования аэродинамического воздействия высокоскоростного поезда на тоннель/ Системы автоматизированного проектирования на транспорте – Санкт-Петербург. 2020. 170 с. – 167 – 172 с.
4. Wang, Xiao. (2018). Numerical analysis on aerodynamic behavior of high-speed trains in the tunnel and open air based on the virtual reality technology. Journal of Vibroengineering, 20.(2) с. 1144–1160.
5. UIC code 779–11R. Determination of railway tunnel cross-sectional areas on the basis of aerodynamic considerations, 2005, 86 с.

Для связи с авторами

Ледяев Александр Петрович
tunnels@pgups.ru
Кавказский Владимир Николаевич
Kavkazskiy_VN@mail.ru
Шелгунов Олег Олегович
ooshelgunov@gmail.com



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНОЕ
УПРАВЛЕНИЕ-15»

- СОЗДАНИЕ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ (ВЫСОТНЫЕ РЕПЕРЫ, ОСИ ЗДАНИЙ, КРАСНЫЕ ЛИНИИ И Т.П.);
- ГОРНОПРОХОДСКИЕ РАБОТЫ;
- ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ, УСТРОЙСТВО ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ, СТЕН И ПЕРЕКРЫТИЙ;
- ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАБОТЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ УСТРОЙСТВО НАПЫЛЯЕМОЙ, НАПЛАВЛЯЕМОЙ И МЕМБРАННОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ, ИНЪЕКЦИОННАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ, ЛЕЧЕНИЕ ТЕЧЕЙ;
- МОНОЛИТНЫЕ РАБОТЫ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОНТАЖ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ;
- МОНТАЖ ВНУТРЕННИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ;
- УСТРОЙСТВО НИЖНЕГО И ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ;
- БЛАГОУСТРОЙСТВО;
- ПОДГОТОВКА ПОЛНОГО КОМПЛЕКТА ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ;
- МЕРОПРИЯТИЯ ПО СДАЧЕ ОБЪЕКТОВ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ;



О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕТОПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АРХИТЕКТУРНОМ ОФОРМЛЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

Л. Р. Давиденко, Д. А. Бойцов, К. В. Романевич, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В статье продемонстрирована актуальность использования светопрозрачных конструкций при архитектурном оформлении наземных и подземных сооружений. Подчеркивается, что использование светопрозрачных материалов вместо непрозрачных (армоцементных, металлических) водоотводящих зонтов при архитектурном оформлении подземных сооружений метрополитена позволит оптимизировать проведение визуальных осмотров несущих конструкций в процессе их содержания. Использование «умных» материалов с регулируемой прозрачностью и прозрачных сенсорных панелей позволит «настраивать» архитектурное оформление сооружений метрополитена, транслировать актуальную информацию для пассажиров. Проведен краткий обзор опыта использования светопрозрачных материалов в наземных сооружениях в России и мире, рассмотрены перспективы и ограничения реализации исследуемой идеи для подземных сооружений.

Пространственные конструкции

Сегодня архитекторы и инженеры многих стран мира ломают стереотипы формы и композиции, изобретают новые конструкции, экспериментируют с материалами. Современный архитектурный шедевр все чаще принимает весьма замысловатую криволинейную форму. Одним из способов создания нелинейных очертаний является использование покрытий на основе сетчатых оболочек. Оболочкой называют покрытие, представляющее собой тонкостенную пространственную криволинейную конструкцию, которая, в отличие от плоскостной конструкции, способна воспринимать нагрузку в обоих направлениях. Это позволяет добиться восприятия аналогичных усилий при меньших затратах материала, а следовательно, сократить расходы на строительство. Оболочковая конструкция позволяет перекрывать значительные площади без создания внутренних дополнительных опор, что увеличивает полезную площадь, а значит и активную часть сооружений. Развитие пространственных конструкций в целом значительно определяет развитие современной строительной отрасли.

Особенности пространственных конструкций позволяют не только достичь необходимой формы сооружения, но и дают возможность использовать различные типы материалов и их сочетания. Это способствует достижению как функциональных, так и эстетических целей: появляется возможность создания прозрачных форм, что физически и психологически облегчает конструкцию, дает чувство единения с внешней средой, и, как следствие, новое сооружение становится представителем устойчивого строительства.

На метрополитене уже более 40 лет используются пространственные конструкции.

Так, при разработке проектов станций и вестибюлей четвертого участка Кировско-Выборгской линии Ленинградского метрополитена было предложено архитектурное решение четырех наземных вестибюлей с перекрытием их пассажирских залов металлическими перекрестно-стержневыми пространственными конструкциями с унифицированным модулем. В августе 1981 г. группе ленинградских инженеров за разработку и внедрение пространственных армоцементных конструкций в массовое строительство общественных зданий и сооружений была присуждена премия Совета Министров СССР [1]. Спустя 40 лет идея использования пространственных, в том числе перекрестно-стержневых конструкций, все еще перспективна – пространственные конструкции имеют огромный эстетический эффект, функциональность, экономичность, что в сочетании с возможностью их пространственной работы ведет к поддержанию идеи устойчивого строительства.

Армоцементные водоотводящие (водозащитные) зонты

Из практики метростроения известно [2], что пространственные армоцементные конструкции в виде водоотводящих (водозащитных) зонтов исторически применялись на наклонных ходах и глубоко заложенных станциях для отвода воды, проникающей в тоннели через швы или болтовые соединения сборных элементов станционной обделки; одновременно зонты служат для архитектурного оформления внутренней поверхности станций. Станционные водозащитные зонты выполнены из асбестоцементных листов толщиной 10–12 мм, водонепроницаемость которых обеспечивается покрытием их наружной поверхности горячей битумной мастикой или перхлорвиниловой эмалью. Асбестоцементный зонт состоит из сек-

ций, ширина которых равна ширине двух тубингов чугунной или двух блоков железобетонной обделки; секции размещают по длине станционных тоннелей. Основным недостатком асбестоцементных зонтов является практическая необходимость оштукатуривать их внутреннюю поверхность.

На станциях Ленинградского метрополитена широкое применение получили так называемые армоцементные зонты, состоящие из двух полуарок, представляющих собой оболочку двоякой кривизны. Наружная поверхность арок покрыта битумной пленкой, а внутренняя после затирки и заделки швов окрашена. Основным недостатком армоцементных зонтов является их волнообразная (в продольном направлении) поверхность, которая не может быть присуща любому архитектурному оформлению станции в той же мере, как гладкая.

Конструкция зонта, примененная на станциях Московского метрополитена советского периода, представляет собой складчатую ромбическую оболочку из стеклопласта, обладающую достаточной жесткостью. Зонт состоит из картин, образующих секции, закреплен шпильками к продольной стальной полосе, в свою очередь прикрепленной к тубингам или блокам обделки. После сборки зонта и шпаклевки стыков его внутренняя поверхность покрыта слоем белой эмали. Такой зонт может быть изготовлен из других листовых и рулонных материалов, не подверженных коррозии (дюралюминий, винипласт и др.). Он обладает многими достоинствами, но имеет один недостаток – заранее заданную декоративную поверхность свода, что не позволяет ему стать универсальной конструкцией. В пределах проемной части станций пилонового типа картины зонтов боковых и среднего тоннелей соединяют с картинами зонтов пилонов и проемов и образуют единую водозащитную сис-



Рис. 1. Внутреннее и внешнее оформление покрытия в аэропорту Чанги, Сингапур
[<https://the6and7.com/blog/news/9-new-concepts-to-try-jewel-changi-airport>]

тему. Вода, стекающая с зонта, отводится по асбестоцементным желобам, которые подвешивают к станционной обделке. Желоба со стороны путевых стен обычно расположены над карнизами. Из желобов вода через воронки попадает в трубки, расположенные в шкафах в путевой стене и в торцах станции, а затем в дренажную систему станции [2].

Водоотводящие зонты на метрополитенах применяются не только для оформления станций – зонты эскалаторных тоннелей выполнены из сборных армоцементных деталей, они монтируются на внутренней поверхности тубинговой обделки наклонного хода по верхнему полупериметру колец из отдельных элементов. Водоотводящие зонты включают панели из упругих плоских листов, соединенных по длинным сторонам между собой и с несущей конструкцией свода посредством замковых элементов с крепежными приспособлениями. В качестве материалов водоотводящих зонтов используются металл, армоцемент, алюминий, металлопластик и др.

В процессе содержания сооружений метрополитена, водоотводящие зонты подлежат регулярной влажной протирке с целью удаления пыли и грязи. В стыках между картинами армоцементных зонтов вследствие деформаций, появляющихся от вибраций и непостоянного температурного и влажностного режима на станциях, образуются трещины. Появившиеся трещины тщательно очищают, расшивают, проклеивают строительным бинтом (серпянкой) или стеклосеткой, после чего в несколько приёмов шпаклюют, шлифуют и закрашивают водоэмульсионными составами. При наличии водопроявлений выполняются работы по гидроизоляции.

При реконструкциях и капитальных ремонтах устаревшие разрушенные временные асбестоцементные водоотводящие зонты заменяются современными, легкими и более

надежными конструкциями, выполненными из алюминия, композитного листового материала. Порядок текущего содержания композитных зонтов определяется согласно рекомендациям завода-изготовителя и соответствующей технологической инструкции. В процессе содержания поверхности металлических водоотводящих зонтов по мере необходимости очищают от отставшей краски и продуктов коррозии, а затем окрашивают антикоррозионными декоративными составами. Отдельные коррозийные элементы алюминиевых водоотводящих зонтов снимают для последующего анодирования или замены на новый элемент.

Одним важным недостатком водоотводящих зонтов, изготовленных из непрозрачных материалов, является то, что доступ к основным несущим конструкциям сооружения перекрыт. Возникает необходимость при визуальном и инструментальном обследовании строительных конструкций наклонных ходов или станций прибегать к частичному или полному вскрытию панелей зонтов для доступа.

Непрозрачные армоцементные, металлические и другие зонты несут потенциальную угрозу, когда сооружения метрополитена (наклонный ход или станция) испытывают деформации (например от нового строительства зданий на поверхности), но специалисты эти деформации зафиксировать не могут из-за отсутствия доступа к конструкциям. Частичные вскрытия зонтов (регламентируемые нормативами) при мониторинговых работах в таких случаях могут быть недостаточными.

Решением может являться идея использования панелей из светопрозрачных материалов, умных материалов с регулируемой прозрачностью и прозрачных сенсорных панелей вместо непрозрачных (армоцементных, металлических) водоотводящих зонтов.

Идея светопрозрачных и «умных» зонтов

Использование в качестве водоотводящих зонтов панелей из светопрозрачных материалов, «умных» материалов с регулируемой прозрачностью и прозрачных сенсорных панелей позволит «настраивать» архитектурное оформление сооружений метрополитена, транслировать важную информацию для пассажиров.

Развитие современных технологий изготовления строительных материалов в сочетании с особенностями конструкции пространственных покрытий позволяет создавать прозрачные формы конструкций для наземных сооружений. С практической точки зрения применение конструкций из современных прозрачных стеклянных и композиционных материалов дает возможность создания легких, прочных конструкций, в которых успешно реализованы принципы энергоэффективности.

Примеры использования прозрачных материалов для наземных сооружений

В качестве примера реализации похожей идеи, но для наземного сооружения, может служить здание аэропорта Чанги в Сингапуре, где была спроектирована металлическая купольная конструкция отрицательной кривизны с вставками из стекла. Данный проект поражает не только масштабами, но и тем, что архитекторы обыграли климатическую особенность этого района Азии, где идут частые дожди и грозы, так, что вся вода собирается в огромную воронку, что позволило создать крупнейший в мире искусственный водопад и подпитывать влагой все растения внутренних джунглей (рис. 1). Это иллюстрирует возможность применения в пространственных оболочковых конструкциях современных светопрозрачных материалов, выдерживающих серьезные влажностные и прочностные нагрузки.



Рис. 2. Оформление подземных входов в метрополитен г. Бильбао, Испания
[<https://planet-metro.livejournal.com/9239.html>]



Рис. 3. Вход на станцию «Канери-Уорф» в Лондоне The Roof Garden of Crossrail Place in Canary Wharf
[YouTube channel settime2588]

Рис. 4. Оболочковая конструкция перекрытия входа на станцию метрополитена «Сен-Лазар» в Париже, Франция
[<https://www.flickr.com/photos/paspog/13964654494>]



Прототипом применения стеклянной облицовки могут служить оболочки двоякой кривизны на входных павильонах метрополитена, выполняющих несколько функций одновременно: покрытие пассажирских спусков, световой фонарь над подземным пространством. Для павильонов метрополитена в разных странах применяются стекла с криволинейными плоскостями. Наиболее яркими примерами можно считать типовой павильон Нормана Фостера, разработанный им для метрополитена Бильбао, Испания (рис. 2), входы на станцию «Канери-Уорф» в Лондоне (рис. 3), павильон на станции «Сен-Лазар» в Париже (рис. 4), на станции «Айон Орчард» в Сингапуре и др.

Использование пространственной оболочки в качестве конструкции покрытия вестибюля станции метро позволяет превратить зачастую скучные и обыденные постройки в архитектурно выразительные. Ограждающая конструкция из металлических профилей с системой прижимных планок и уплотняющих резинок с зажатыми листами из светопрозрачных материалов позволит создать эффект присутствия в оранжерее, зимнем саду (при соответствующем внутреннем оформлении станции), а при использовании крупноsegmentной сетки разбивки – иллюзию нахождения под открытым небом.

Использование такой конструкции вызывает ряд вопросов, особенно в сфере энергоэффективности, целесообразности, т. к. не каждому региону подойдет данный проект. Разработка подобного варианта вестибюля требует детальной индивидуальной проработки исходя из климатических условий площадки застройки. Но с точки зрения конструкций стоит отметить, что на сегодняшний день промышленности удалось добиться успехов в создании прочных стеклянных и композитных светопрозрачных материалов, обладающих хорошими теплотехническими, звуко- и гидроизоляционными свойствами.

Примеры использования прозрачных конструкций для оформления наземных ве-



Рис. 5. Оформление станции метрополитена «Савёловская» в Москве
[http://visualrian.ru/hier_rubric/photo/5790348.html]

стибюлей метрополитенов существуют и в отечественной практике.

Светопрозрачные материалы (в том числе и стекло) применены на вестибюлях Некрасовской и Большой кольцевой линии метрополитена в Москве. Вестибюль станции «Электрозаводская» со входом, выполненным в виде стеклянного портала, сделан полукругом, а из-за планировочных ограничений сзади он отрезан по прямой. В самом вестибюле синий потолок, символизирующий небесный купол, подчеркнут стенами из матового стекла, за которым встроены лампы, создающие ощущение пробивающегося дневного света» [3].

В Санкт-Петербурге на станции «Зенит» («Новокрестовская») организованы световые фонари на крыше подземных вестибюлей. Благодаря системе светоотражающих зеркальных плоскостей организовано естественное освещение подземных залов вестибюлей, а в темное время суток данные светоотражающие конструкции, установленные в наземных световых фонарях, отражают свет прожекторов, являясь частью системы искусственного освещения.

Примеры использования светопрозрачных материалов для подземных сооружений

Универсальность применения пространственных конструкций дает возможность использования их при строительстве метрополитена, причем как для наземных конструкций (вестибюлей, входов), так и для подземных (водоотводящие зонты станций, эскалаторных тоннелей и др.).

Важной архитектурной предпосылкой для внедрения светопрозрачной облицовки является идея демонстрации тектоники несущих конструкций метрополитена – композиции тубинговой обделки. Узлы сопряжения сборных элементов, массивные железобетонные и чугунные элементы формируют четкую и ясную конструктивную схему, позволяющую пассажирам чувствовать и понимать работу конструкций крепких подземных выработок. Идея демонстрации несущих конструкций в истории архитектуры имеет сотни направлений и воплощений в разных эпохах и разных сти-

лях: каменная и кирпичная кладка на фасадах и в интерьерах стен и сводов, ажурные металлоконструкции с заклепками в архитектуре конца XIX – начала XX века, открытые бетонные и стальные элементы в современной архитектуре крупномасштабных общественных зданий и мостов.

При кажущейся простоте реализации, данная идея наталкивается на ряд проблем. Во-первых, применение светопрозрачной конструкции в первом приближении означает использование стекла и стеклянных материалов, что в соответствии с действующими нормативными документами в сфере проектирования метрополитена не допускается. Также встает вопрос о противопожарной надежности материала. Таким образом, формулируется проблема выбора материала, удовлетворяющего требованиям эксплуатирующей организации и действующего законодательства. Во-вторых, из заобделочной зоны тубингов часто просачивается вода – присутствие воды с

различными примесями в полностью прозрачной конструкции приведет к образованию подтеков, скапливанию конденсата. Это будет сказываться не только на состоянии конструкции, но и на эстетическом восприятии. Так, ставится вопрос о создании вентилируемой и влагопоглощающей конструкции, а также и о создании специальных водоотводящих каналов в конструкциях, системах очистки панелей с внутренней и наружной стороны.

Несмотря на обозначенные проблемы, существуют проекты, в которых реализована идея открытия внутренних элементов конструкций. В Московском метро с 2018 г. эксплуатируется станция «Савёловская» с открытыми тубингами на путевой стене и в пиллонах за стеклянной отделкой (рис. 5).

В Будапеште пилонная станция «Келети пайаудвар» («Восточный вокзал») 1970 г., в которой промежуток между пилонами облицован гнутым стеклом, что позволяет видеть элементы конструкции (рис. 6).

Рис. 6. Пилонная станция «Келети пайаудвар» («Восточный вокзал») в Будапеште
[metros.hu]



Необходимо дополнительно подчеркнуть, что использование светопрозрачных материалов вместо непрозрачных (армоцементных, металлических) водоотводящих зонтов и облицовки станций полностью по всей поверхности или в местах наиболее ответственных узлов позволяет оптимизировать проведение визуальных осмотров несущих конструкций сооружений в процессе их содержания.

Для дальнейшего развития идеи и ее реализации необходимо решить ряд задач: подобрать такой светопрозрачный материал, который обладал бы удовлетворительными прочностными, энергоэффективными и противопожарными свойствами и который можно было бы применять при строительстве метрополитена.

В гражданском строительстве широкое применение имеет монолитный поликарбонат – материал, внешне ничем не отличающийся от обычного стекла. К достоинствам этого материала, помимо хороших светопропускающих свойств, малого веса, влагостойкости, гибкости, легкости обработки, относятся такие свойства, как сверхвысокая ударопрочность и повышенная тепло- и морозостойкость. Монолитный поликарбонат относится к категории антивандальных прозрачных материалов. Его ударопрочность в 250 раз превышает ударопрочность обычного стекла. Основной недостаток материала – его пожароопасность. Материал токсичен при горении и обладает дымообразованием, поэтому его применение в отделке метрополитенов, особенно на путях эвакуации, не допускается. Возможно, при перспективных модернизациях полимерных материалов будут созданы новые типы изделий, обладающие более высокой степенью пожарной безопасности, и их применение будет востребовано на метрополитене.

Вместе с тем, в рамках данной статьи были приведены примеры успешной реализации проектов с применением стекла, что дает возможность анализа опыта зарубежных коллег. Здание аэропорта Чанги показывает, что стеклянная оболочка способна выдерживать даже штормовые нагрузки, а стеклянные павильоны метро в Бильбао, Лондоне и Париже – возможность и безопасность использования стекла при строительстве сооружений метрополитена.

Перспектива перехода к Smart-технологиям

Еще одним аспектом в развитии идеи использования прозрачных конструкций для облицовки сооружений метрополитена является создание поверхностей с возможностями проекции или трансляции на них изображений и видеоряда. В таком случае в период работы станции на экраны будет передаваться тематическая подборка изображений, возможно, реклама, различные оповещения, направленные на информирование пассажиров, а в нерабо-

чее время – предоставляться доступ к несущим конструкциям с целью визуального мониторинга их состояния. Идея использования сенсорных экранов позволила бы минимизировать негативное влияние обводненности обделки, но ее реализация требует дополнительных исследований в сфере электротехники. Возможность реализации идеи поддерживает недавно вышедший на рынок прозрачный телевизор, презентованный китайским конгломератом. Тонкая, почти прозрачная конструкция OLED-экрана способна полноценно воспроизводить транслируемое изображение. Основным недостаток такого экрана – большая чувствительность к влаге, что, как уже было отмечено, является насущной проблемой и требует конструктивных решений по созданию соответствующей защиты.

Запущенный в Китае в декабре 2020 г. проект также демонстрирует перспективы дальнейшего развития и модернизации метрополитена будущего. Компания Wabtec (США) в сотрудничестве с метрополитеном Шэньчжэня и китайской компанией CRRC Nanjing Puzhen реализует пилотный проект так называемых умных окон (Smart Windows) на подвижном составе метро [4]. Такое окно представляет собой прозрачный сенсорный дисплей с матрицей из органических светодиодов и тонкопленочных транзисторов, формирующей контрастное изображение высокого разрешения. Пилотный проект согласуется с инициативой администрации Шэньчжэня по цифровизации города и общественного транспорта Smart City Smart Transport.

Актуальным может быть и применение технологий световодов для освещения пространства между стеклянной облицовкой и обделкой, торцевая подсветка стекол, а также использование «умных» стекол на основе электрохромных пленок и стекол smart-glass с регулируемой прозрачностью, когда под воздействием слабого электрического тока по скрытой проводке происходит поляризация микрочастиц и поверхность стекла может изменять свою светопропускную способность.

Выводы

Тенденции современного строительства дают возможность проектировщикам и архитекторам создавать сооружения, несущие в себе иллюзию легкости, воздушности, невесомости, визуально расширять пространство. Этого эффекта можно добиться в первую очередь при применении светопрозрачных конструкций, особенно в сочетании с использованием параметрических форм конструкций, в частности, сферических, как наиболее органичных. Их применение весьма актуально при строительстве наземных сооружений метрополитенов в России и мире. Также существует возможность применения подобного рода

конструкций и при возведении внутренних поверхностей подземных сооружений метрополитенов, таких как водоотводящие зонты наклонных ходов и станций. И если при проектировании пространственной оболочковой конструкции наземного вестибюля основной является эстетическая составляющая и возможность организовать естественное освещение пассажирского пространства, то в отношении внутренних поверхностей подземных сооружений на первый план выходит практический аспект – решение проблем невозможности сплошного контроля за физическим состоянием ответственных несущих конструкций и необходимости вскрытия армоцементных и металлических панелей при обследовании и мониторинге. Ячеистая структура с прозрачным заполнением создаст легкость доступа как для визуального, так и для инструментального обследования и контроля состояния обделки. Использование «умных» материалов с регулируемой прозрачностью и прозрачных сенсорных панелей позволит «настраивать» архитектурное оформление подземных сооружений метрополитена, транслировать актуальную информацию для пассажиров.

Реализация представленной концепции требует дополнительных исследований в области строительных материалов, а также более детального анализа примеров проектирования и строительства сооружений с использованием светопрозрачных материалов.

Ключевые слова

Пространственные оболочковые конструкции, светопрозрачные материалы, подземные сооружения метрополитена, водоотводящие зонты, визуальный мониторинг несущих конструкций, архитектурный проект.

Список литературы

1. Архитектуры метро: связь поколений // Вестник. «Зодчий. 21 век». – 2020. N1 (Январь). – С. 32–37.
2. Волков В. П., Наумов С. Н., Пирожкова А. Н., Храпов В. Г. Тоннели и метрополитены. – М., «Транспорт», 1975, – 551 с.
3. Александр Некрасов. Панорамные проемы и огромное панно: оформление станции «Электрозаводская» БКЛ метро. <https://stroim.mos.ru/interviews/panoramnye-proiemy-i-ogromnoie-panno-oformlennie-stantsii-eliكتروзаводская-bkl?from=cl>.
4. В Китае на метрополитене Шэньчжэня испытывают технологию прозрачных дисплеев Smart Windows // Железные дороги мира. – 2020. – N 12 (Декабрь). – С. 17.

Для связи с авторами

Давиденко Лада Руслановна
davidenko.lada@list.ru
Бойцов Дмитрий Анатольевич
DBoitsov@imgt.ru
Романевич Кирилл Викторович
romanevichkirill@gmail.com

