ЖУРНАЛ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ

ТА ТОННЕЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ РОССИИ
ОБЩЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

ISSN 1726-6165

Метро и тоннели

№ 2
июнь 2025



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ИЗДАНИЕ

МТ

70 ЛЕТ!

СИБЛИТМАШ

ЗАВОД ЛИТЕЙНЫХ МАШИН
И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

2024















СИБЛИТМАШ

ЗАВОД ЛИТЕЙНЫХ МАШИН
И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

2024

630024, г. Новосибирск, ул. Бетонная, 2
тел.: (383) 353-40-01, факс: (383) 353-45-51
e-mail: siblit@siblitmash.com
www.siblitmash.com

Метро и тоннели

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
С. В. Анциферов, доктор техн. наук
М. Ю. Беленький
В. В. Внутских
С. А. Жуков
В. Н. Захаров, академик РАН
В. Н. Кавказский, канд. техн. наук
Д. С. Конюхов, доктор техн. наук
М. О. Лебедев, канд. техн. наук
И. В. Маковский, канд. техн. наук
В. Е. Меркин, доктор техн. наук
М. Х. Миралимов, доктор техн. наук
А. Н. Панкратенко, доктор техн. наук
А. А. Пискунов, доктор техн. наук
М. М. Рахимов, канд. техн. наук
А. Ю. Старков
Д. Ю. Чунюк, канд. техн. наук
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук
Ш. К. Эфендиев

Тоннельная ассоциация России
тел.: (495) 608-8032, 608-8172
факс: (495) 607-3276
www.rus-tar.ru
e-mail: info@rus-tar.ru

Предпечатная подготовка ООО «Метро и тоннели»
127521, Москва
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3
оф. 4206
e-mail: metrotunnels@gmail.com
Журнал зарегистрирован Минпечати РФ ПИ №77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов журнала только с письменного разрешения Тоннельной ассоциации России

№2, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

В Тоннельной ассоциации России
Подземное строительство в свете деятельности Тоннельной ассоциации 2

Метрополитены
Московскому метрополитену 90 лет! 6

Строительство
Строительство верхнего вентиляционного узла станции «Савеловская» Большой кольцевой линии метрополитена в Москве (окончание) 8
И. Я. Дорман, С. В. Мазеин

Специальные способы работ
Характеристики процесса азотного замораживания грунтов при сооружении объектов метрополитена Санкт-Петербурга 13
Л. М. Барсуков, О. О. Шелгунов

Исследования
Лазерное сканирование в составе технического обследования подземных объектов инфраструктуры метрополитена 16
А. А. Шульгина, С. Н. Переломов, А. А. Вдовин

Моделирование затоплений поверхностными водами для целей защиты проектируемых станций метрополитена 21
Е. М. Гоконова, Л. Е. Казанов

Тоннельная вентиляция
Артемовский машиностроительный завод «ВЕНТПРОМ» – надежный партнер Московского метрополитена 28
П. В. Вяткин, В. И. Кутаев

Решения по продольной вентиляции тоннелей на основе численной гидродинамики 31
Д. С. Конюхов

Железнодорожные тоннели
Современное состояние и перспективы строительства железнодорожных тоннелей в Европе 35
В. В. Кравченко

Конференции
Круглый стол «Инновации в подземном строительстве – 2025» 37

Исторический дайджест публикаций 45



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Вентиляторы ВОМД 24 в вентшахте метрополитена (с. 28)

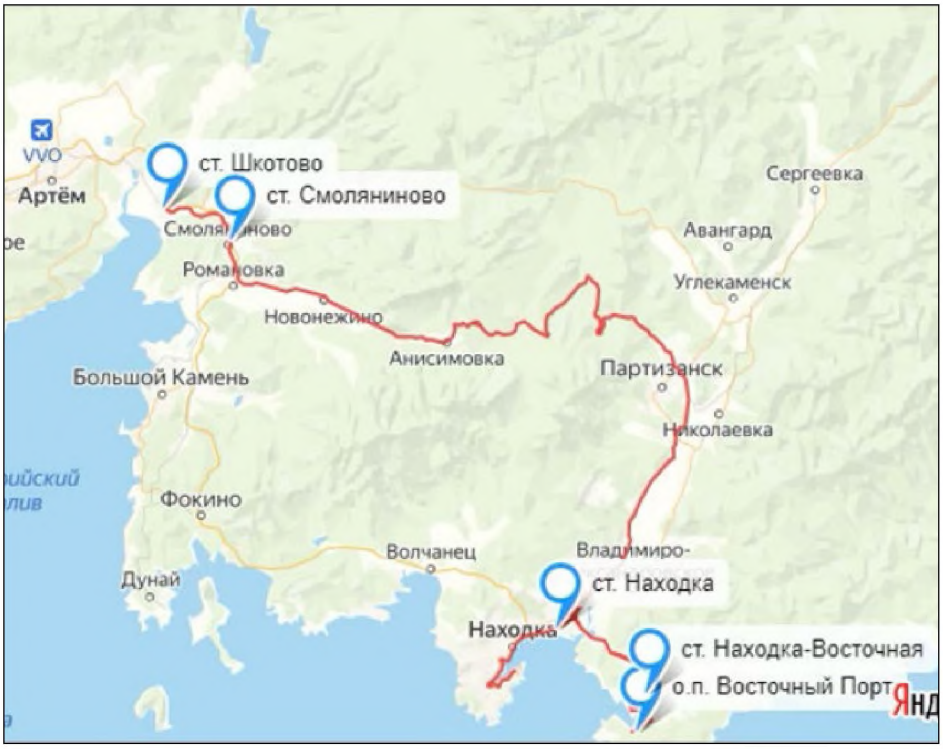
ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В СВЕТЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ

27 марта Правление и Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России на IX отчетно-выборной конференции обнародовали итоги своей четырехлетней деятельности и планы на аналогичный период в новом составе. Исходя из отчетного доклада, рассмотрим, прежде всего, основные достижения страны в подземном транспортном строительстве, которым содействовала ТАР за прошедшее время, а также перспективы дальнейшей работы организации.



В настоящее время в России вся деятельность по развитию транспортной инфраструктуры определяется Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ 27.11.2021 г. № 3363-р.

Удивительный факт, но дата принятия распоряжения практически совпала с началом работы состава правления Тоннельной ассоциации России, выбранного на период с 25 ноября 2021 г. по 27 марта 2025 г. Так что с самого начала мы руководствовались необходимостью достижения целей, определенных этим основополагающим документом.



Основные строительные объекты

Отметим несколько конкретных проектов метро- и тоннелестроения, в реализации которых в отчетный период принимали участие организации-члены Тоннельной ассоциации России.



Реализация программы транспортного развития Восточного полигона

Реализация программы развития Восточного полигона направлена на обеспечение транспортной доступности к удаленным районам Сибири и Дальнего Востока, увеличение пропускной способности Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и Транссиба.

15 декабря 2023 г. в Сковородинском районе Амурской области на Транссибе пущен в эксплуатацию Керакский двухпутный железнодорожный тоннель протяженностью 926 м. Пуск объекта состоялся с участием Президента РФ В. В. Путина в ходе проведения IV Съезда железнодорожников. Подрядные работы на строительстве тоннеля выполняло ООО «СпецСитиСтрой», являющееся членом Тоннельной ассоциации России. В проектировании этого тоннеля принимало участие ООО «ПИИ «Бамтоннельпроект».

20 февраля 2024 г. на участке Новый Ургал – Постышево Байкало-Амурской магистрали в Хабаровском крае произведена сбойка второго Дуссе-Алиньского тоннеля, протяженность которого составляет 1824 м. Функции генерального подрядчика на строительстве выполняло АО «Бамтоннельстрой».

В конце декабря 2024 г. пущены в эксплуатацию два железнодорожных тоннеля длиной 1,42 и 1,45 км на участке Шкотово – Смольниново Дальневосточной железной дороги. Новый обход протяженностью 10 км стал решением многолетней проблемы и значительно повысил эффективность грузовых перевозок на этом маршруте. Работы по строительству тоннелей вела дочерняя организация АО «Мосметрострой».

Программа развития Московского метрополитена

Участие в реализации масштабной программы развития Московского метрополитена – это особая гордость метро- и тоннелестроителей не только Москвы, но и многих городов России, а также проектировщиков и строителей Белоруссии и Китая, с которыми у членов ТАР налажены взаимовыгодные производственные и научно-технические связи.

Основные работы, выполненные в 2022–2024 гг. в рамках этой программы, представлены в табл на с. 5.

Другие метрополитены России

С трудом, но все-таки продолжается реализация программы развития Санкт-Петербургского метрополитена. До конца 2024 г. планировалось открыть три новых станции – «Горный институт», «Путиловская» и «Юго-Западная», однако в обозначенные сроки (27.12.2024 г.) обеспечен пуск в эксплуатацию только станции «Горный институт»», пуск других перенесен на конец 2025 г. Надеемся, что организационные и финансовые проблемы, в конце концов, будут решены и работы по проектированию и строительству метрополитена войдут в нормальное русло. Согласно перспективным планам, до конца 2032 г. в городе должно быть построено 20 новых станций метро.

В 2022–2024 гг. начаты работы по проектированию и строительству новой линии метрополитена в Нижнем Новгороде и линий скоростных трамваев в Красноярске и Челябинске.

В Самаре Мосметрострой в 2024 г. завершена проходка левого перегонного тоннеля между станциями «Театральная» и «Алабинская».

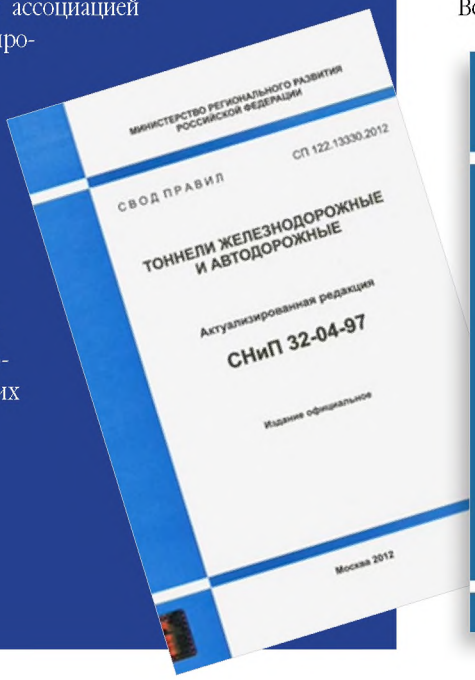
Формирование нормативно-технической базы

Исполнительной дирекцией ТАР выполняется также большой объем экспертных работ, связанных с формированием нормативно-технической базы подземного строительства. Эта деятельность ведется в рамках ТК 465 «Строительство» Минстроя РФ и технических комитетов по стандартизации «Производство работ в строительстве. Типовые технологические и организационные процессы» (ТК 400) и «Метрополитены» (ТК 150).



Основные направления деятельности Тоннельной ассоциации России на период 2025–2028 гг.

1. Оказание всестороннего содействия ускорению внедрения достижений научно-технического прогресса в практику строительства, повышению эффективности и качества строительства и эксплуатации подземных сооружений, путем организации семинаров, круглых столов, конференций, проведения различных видов конкурсов, направленных на развитие творческой активности инженерно-технических работников организаций-членов Тоннельной ассоциации России и студентов высших учебных заведений.
2. Активное участие в формировании эффективной системы государственного регулирования в области освоения подземного пространства в градостроительных целях, методик оценки экономической эффективности и функциональной целесообразности строительства подземных объектов с учетом особенностей условий застройки.
3. Обеспечение тесного сотрудничества с организациями Минстроя РФ, НОПРИЗ и НОСТРОЙ в выработке технической политики и научно-технических программ в области проведения исследований, проектирования, строительства и эксплуатации метрополитенов и тоннелей.
4. Участие в конкретной работе по совершенствованию нормативно-технической базы инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объектов, размещаемых в подземном пространстве.
5. Содействие внедрению технологий информационного моделирования в практику проведения изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений.
6. Создание временных творческих коллективов (рабочих групп) для выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, работ по внедрению научно-технических достижений.
7. Участие в организации и обеспечении научно-технического сопровождения проектов, связанных с освоением подземного пространства.
8. Организация деятельности Научно-технического экспертного совета Тоннельной ассоциации России для обеспечения выработки оптимальных решений по сложным вопросам проектирования и строительства подземных сооружений.
9. Продолжить издание научно-технического и информационного журнала «Метро и тоннели» для оперативного информирования тоннельной общественности с последними достижениями в области подземного строительства.
10. Осуществление тесного взаимодействия с учебными заведениями по вопросу подготовки высококвалифицированных инженерных и научных кадров в области подземного строительства.
11. Развитие сотрудничества с Международной ассоциацией тоннелестроения и освоения подземного пространства (ITA/AITES), в том числе путем активизации работы в различных рабочих группах этой организации.
12. Развитие других видов международного сотрудничества в области подземного строительства с зарубежными странами, в том числе на двусторонней основе.
13. Содействие расширению сотрудничества вузов, входящих в состав ассоциации, с подразделением тоннелей и подземного строительства Китайского общества гражданских инженеров и университетами КНР.





Сотрудники исполнительной дирекции ТАР входят в состав этих органов технического регулирования, принимают участие в планировании их работы, участвуют в рассмотрении разрабатываемых в области подземного строительства нормативно-технических документов. В 2023 г. в состав созданной рабочей группы «Технологии повторного использования, реконструкции, демонтажа и утилизации зданий и сооружений» ТК 400 включен сотрудник исполнительной дирекции ТАР И. Я. Дорман.

В отчетный период в нашей работе важное значение было уделено успешному завершению переработки Свода правил СП 120.133330.2022 «СНиП 32-02-2003. Метрополитены», которая велась АО «Мосинжпроект» совместно с другими членами Тоннельной ассоциации России. В разработке этого документа непосредственное участие принял руководитель исполнительной дирекции А. Б. Лебедьков, а в качестве научного руководителя выступил член правления ТАР И. Я. Дорман. В 2022 г. документ прошёл стадию доработки по результатам общественного обсуждения и введен в действие с 28.01.2023 г.

Исполнительная дирекция ТАР принимает участие в общественном обсуждении и других нормативных документов, разрабатываемых по планам этих технических комитетов. В частности, д. т. н. И. Я. Дорман участвует как соавтор в работе по корректировке СП 122.13330 «Тоннели железнодорожные и автодорожные», принимал участие в разработке Свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта», которая велась по инициативе авторского коллектива ООО «Системные продукты для строительства» (организация-член Тоннельной ассоциации России).

Всего в отчетный период рассмотрено

Таблица

Основные работы, выполненные в 2022-2024 гг. в рамках программы развития Московского метрополитена

Дата	Объект программы развития Московского метрополитена
1 марта 2023 г.	Завершено строительство Большой кольцевой линии. Линия пущена в эксплуатацию на всем протяжении, а это более 70 км тоннелей и 31 станция. Большинство станций БКЛ являются пересадочными на другие линии метрополитена, станции МЦК и МЦД. Таким образом формируется эффективная и надежная система пассажирских перевозок в Москве и Московской области
6 сентября 2023 г.	Пущен в эксплуатацию новый участок Солнцевской линии Московского метрополитена в сторону аэропорта Внуково протяженностью 4,9 км, с двумя станциями – «Пыхтино» и «Аэропорт Внуково». Событие является знаковым, поскольку впервые в нашей стране метрополитен связал город с одним из крупнейших аэропортов России
7 сентября 2023 г.	Открыты три станции на Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена – «Яхромская», «Лианозово» и «Физтех»
22 мая 2023 г.	Ведется проектирование и начато строительство Калининско-Солнцевской, Троицкой, Рублево-Архангельской и Бирюлевской линий Московского метрополитена
2023 г.	Завершены уникальные работы по реконструкция перегонных тоннелей и станции «Коломенская». Участок Замоскворецкой линии Московского метрополитена между станциями «Автозаводская» и «Орехово» открыт для постоянного движения
5 сентября 2024 г.	На Сокольнической линии состоялось открытие первой в Московском метро отапливаемой наземной крытой станции «Потапово». Продление красной ветки существенно улучшит транспортное обслуживание жителей Новомосковского округа и района Южное Бутово
7 сентября 2024 г.	Пущен в эксплуатацию участок Троицкой линии от станции «Новаторская» до станции «Тютчевская» протяженностью 8,3 км (четыре станции)
декабрь 2024 г.	На станции «Новаторская» Большой кольцевой и Троицкой линий открыт новый выход. Завершена проходка перегонного тоннеля от станции «Народное ополчение» до станции «Бульвар Генерала Карбышева» Рублево-Архангельской линии
3 января 2025 г.	Пущен в эксплуатацию второй вестибюль станции «Физтех» Люблинско-Дмитровской линии метро



более 50 нормативных и организационных документов, в той или иной мере затрагивающих вопросы технического регулирования подземного строительства. В ФАУ «ФЦС» передано предложение по включению в план разработки Свода правил «Ремонт подземных сооружений». Кроме того, по согласованию с АО «Дороги и мосты», исполнительной дирекцией ТАР рассматриваются нормативно-технические документы, разработка которых финансируется этой организацией.

О стратегии деятельности ТАР по 2028 год

Важнейшим направлением Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. является развитие Восточного полигона, прежде всего, с целью увеличения пропускной способности БАМа и Транссиба.

Как известно, реализация данной программы идет с 2012 г. За прошедшее время на этих железнодорожных линиях возведено и реконструировано более 100 искусственных сооружений.

В проекте реализация третьего этапа развития Восточного полигона, в рамках которого планируется построить второй Кодарский, второй Северомуйский и второй Кузнецовский тоннели. Завершение строительства первого из них планируется на конец 2030 г., а двух других – до конца 2032 г. Реализация этих планов позволит увеличить провозную способность на Восточном полигоне до 255 млн т грузов в год.

Стратегией предусматривается также создание опорных сетей автомобильных и железных дорог, международных транспортных коридоров «Запад – Восток» и «Север – Юг», нацеленных на обеспечение эффективного выхода российских предприятий и организаций на зарубежные рынки.

В крупных городских агломерациях предусматривается создание магистральных каркасов городского пассажирского транспорта, предусматривающих совокупность работы всех его видов, в том числе метрополитена, трамвая, скоростного автобусного и троллейбусного движения, а также связанной с ними сети пригородных железнодорожных линий.

Большой объем работ этой стратегией отводится и строителям подземных сооружений, многие из которых уже полностью вовлечены в ее реализацию.

Тоннельная ассоциация России является общественной организацией и призвана оказывать всемерное содействие своим участникам в выполнении ими производственных задач. Этим и определяются приоритетные направления деятельности ТАР.

МОСКОВСКОМУ МЕТРОПОЛИТЕНУ 90 ЛЕТ!



15 мая 1935 г. – знаменательный день для москвичей и, особенно, для метростроевцев и работников Московского метрополитена.

В этот день 90 лет назад голубые экспрессы метрополитена впервые начали свои подземные рейсы под оживленными улицами Москвы. Первую линию метро, соединяющую Сокольники со Смоленской и Крымской площадями (протяженностью 11,6 км), отечественные инженеры и рабочие, не имевшие до этого опыта и современного проходческого оборудования, построили в труднейших гидрогеологических и городских условиях за не полные четыре года!

В этот юбилейный 2025 год редакция журнала сочла целесообразным кратко познакомить читателей с интересными фактами деятельности руководителей страны и города, метростроителей и будущих эксплуатационников за несколько месяцев, предшествующих пуску 15 мая 2035 г. первой линии метрополитена.

Для подготовки к сдаче метрополитена в эксплуатацию в октябре 1934 г. была образована Дирекция метрополитена во главе с бывшим начальником Московской окружной железной дороги А. А. Петриковским. Ему было поручено разработать организационную схему, подобрать подходящих сотрудников и определить условия их труда, представив свои предложения Московскому комитету партии и Моссовету. Руководство дирекции метрополитена разместилось в здании над входом на станцию «Дзержинская» («Лубянка»). В постоянный штат организации были зачислены рабочие и специалисты, отличившиеся на строительстве метро. В январе 1935 г. был создан ряд комиссий, призванных заняться электрооборудованием подвижного состава, распределением пассажиропотока на станциях, техникой безопасности и др. Речь при этом шла даже о таких мелочах, как развеска на станциях на плане города схем линий метро.

22 февраля 1935 г. руководство страны назначило правительственную комиссию в составе высокопоставленных функционеров и ученых под председательством руководителя Госплана и заместителя председателя Совнаркома В. И. Межлаука. Комиссия должна была проверить выполненную Метрострoем работу и в первой половине марта принять первую очередь линии метро в постоянную эксплуатацию.

Комиссия заседала существенно дольше, чем предполагалось. Причина состояла в том, что ее члены отнеслись весьма серьезно к возложенной на них миссии. Но московское партийное руководство проявляло недовольство и упрекало комиссию в «перестраховке». В. И. Межлаук и нарком тяжелой промышленности Серго Орджоникидзе, в чье ведение Метрострой был передан в начале марта, стремились при любых обстоятельствах избежать срывов при сдаче метро в эксплуатацию, как это нередко случалось в ходе поспешных пусков промышленных гигантов первой пятилетки. Наконец, перед лицом своего населения и заграницы нужно было соответствовать лозунгу, что построено лучшее метро в мире. Технические, строительные или организационные упущения на метрополитене невозможно было скрыть от общественности, как это делалось

на других предприятиях. В метро тысячи пассажиров ежедневно могли сами убедиться, действует оно или нет. Но вопрос со сроками решил... Сталин.

В начале апреля 1935 г. Сталин вместе с высшими партийными и государственными деятелями предпринял пробную поездку на метро. Прямо посреди тоннеля поезд остановился из-за неисправности автоматических тормозов.

Когда два часа спустя Сталин, наконец, смог выбраться из вагона, он прошествовал сразу к автомобилю мимо ожидавших его инженеров и членов правительственной комиссии, не проронив ни слова. После этого уже никто не торопил комиссию по приемке метрополитена.

Промежуточный доклад комиссии в марте 1935 г. вскрыл ряд недостатков: в нарушение технического проекта на конечных станциях «Сокольники» и «Парк культуры» (проектное название станции – «Крымская площадь») не были сооружены оборотные тупики, что снижало пропускную способность метрополитена, на большинстве станций не был построен второй выход. Хотя тоннельные работы в целом были выполнены удовлетворительно, но не везде железобетонная обделка имела проектную толщину, что, впрочем, компенсировалось использованием прочности бетона.

В обделке тоннелей на Арбатском радиусе (ответвление на Смоленскую линию) появились трещины, но по отзыву экспертов они не представляли опасности. Гидроизоляция в ряде мест оказалась недостаточно герметичной, поскольку укладывалась слишком поспешно или была повреждена при монтаже электрооборудования. В районе речек Неглинки и Ольховки вода прорывалась в тоннель. На некоторых перегонах поезда проходили всего в 3 см от кабельных линий (отметим, что еще не существовала нормативная взаимосвязь габаритов приближения строений, оборудования и подвижного состава).

Ознакомившись с выводами комиссии, Политбюро партии решением от 26 апреля 1935 г. постановило открыть нормальное движение поездов метрополитена 15 мая, и дало указание Метрострою устранить за две недели все выявленные правительственной комиссией недоделки, проложить оборотные пути на конечных станциях «Сокольники» и «Парк культуры», обеспечить доступ ко второму эскалатору на станции «Кировская» (ныне «Чистые пруды»), что и было сделано метростроевцами!

14 мая 1935 г. в Колонном зале Дома Союзов состоялось торжественное заседание, посвященное пуску метрополитена. За столом президиума – руководители партии и правительства.



В президиуме торжественного заседания в Колонном зале Дома Союзов 14 мая 1935 г., посвященного пуску Московского метрополитена

По поручению и от имени Московского областного и городского комитетов партии, Московского совета, областного исполнительного комитета и Московского совета профессиональных союзов торжественное заседание, посвященное пуску метрополитена, открыл тов. Булганин.

С коротким приветствием выступил директор метрополитена Петриковский. Секретарь Московского совета тов. Карпов оглашает постановление президиума Моссовета об учреждении почетного значка Московского совета, которым награждаются особо отличившиеся ударники Метростроя. Московской комсомольской организации вручается знамя Моссовета. Для ударников метро и их детей устанавливается 25 стипендий в вузах, втузах и техникумах Москвы.

Далее с большой речью выступил тов. Каганович.

Заседание заканчивается пением «Интернационала» и бурными овациями.

Но тут председательствующий просит присутствующих прекратить овации и объявляет: «Слово для предложения имеет товарищ Сталин», который произносит короткую речь:

«Я имею две поправки. Дело сводится к следующему. Партия и правительство наградили за успешное строительство Московского метрополитена одних орденом Ленина, других – орденом Красной Звезды, третьих – орденом Трудового Красного знамени, четвертых – грамотой Центрального Исполнительного Комитета.

Но вот вопрос: а как быть с остальными, как быть с теми товарищами, которые работали не хуже, чем награжденные, которые клали свой труд, свое умение, свои силы наравне с ними? Одни из вас как будто бы рады, а другие недоумевают. Что же делать? Вот вопрос.

Так вот, эту ошибку партии и правительства мы хотим поправить перед всем честным миром. Я не любитель говорить большие речи, поэтому разрешите зачитать поправки.

Первая поправка: за успешную работу по строительству Московского метрополитена объявить от имени Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров Союза ССР благодарность ударникам, ударницам и всему коллективу инженеров, техников, рабочих и работниц Метростроя.

Сегодня же надо провести поправку о том, что объявляем благодарность всем работникам Метростроя.

И вторая поправка – я прямо читаю: за особые заслуги в деле мобилизации славных комсомольцев и комсомолок на успешное строительство Московского метрополитена наградить орденом Ленина московскую организацию комсомола. Эту поправку тоже надо сегодня провести и завтра опубликовать».

Такая вот история перед пуском в эксплуатацию первой очереди Московского метрополитена 15 мая 1935 г.

СТРОИТЕЛЬСТВО ВЕРХНЕГО ВЕНТИЛЯЦИОННОГО УЗЛА СТАНЦИИ «САВЕЛОВСКАЯ» БОЛЬШОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ МЕТРОПОЛИТЕНА В МОСКВЕ*



И. Я. Дорман,
д. т. н., проф., Тоннельная ассоциация России



С. В. Мазеин,
д. т. н., Тоннельная ассоциация России

АО «Мосинжпроект», как генеральный проектировщик и генеральный подрядчик строительства Третьего пересадочного контура Московского метрополитена (ТПК) (ныне Большой кольцевой линии метрополитена в Москве (БКЛ)) поручил Тоннельной ассоциации России в соответствии с п. 8 ст. 48.1 Градостроительного кодекса РФ, а также п. 7 и 8 ст. 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и на основании п. 10.5. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» осуществить научно-техническое сопровождение проектирования и строительства (НТСС) верхнего вентиляционного узла (ВВУ) подземного вентиляционного комплекса, расположенного в районе шахтного ствола № 1237 у ст. «Савеловская» БКЛ, с устройством отходящего от ствола подземного вентиляционного канала и наземного воздухозаборного вентиляционного киоска. В статье изложен анализ результатов работы по НТСС при проектировании и строительстве.

Анализ строительно-монтажных работ на III этапе

Наибольший интерес и сложность представляло строительство участка верхнего вентиляционного узла на этапе III. ГУП «Московский метрополитен», АО «Мосинжпроект» и АО «Мосметрострой» издали совместный приказ о производстве работ по сооружению основных конструкций ВВУ на этом этапе в условиях действующего метрополитена.

До начала работ по демонтажу временного венткиоска и сооружения основных конструкций ВВУ, был осуществлен демонтаж всех инженерных коммуникаций и электротехнических устройств в вентстволе от отметки 151.795, попадающих в зону строительства вентиляционного канала, а также были выполнены работы по возведению металлической отсечной перегородки, отделяющей зону производства работ вентканала от действующих сооружений метрополитена. После чего демонтировали над стволом № 1237 наружную металлическую воздухозаборную конструкцию венткиоска, показанную на рис. 1.

Строительно-монтажные работы на этом участке продолжались также под защитой водопонижения. В зоне работ было исключено размещение тяжелой строительной техники, обеспечены меры пожарной безопасности.

Ранее сооружение ствола № 1237 из чугунных тюбингов в водонасыщенном грунте осуществлялось в котловане с применением кругового ограждения из БСС, в связи с чем, для разборки 12-ти колец ствола до отметки 151.795, необходимо было разломать ограждение из БСС (рис. 9). Их разломка во избежание динамического воздействия на ствол осуществлялась с применением канатно-алмазной резки.

По состоянию на конец июня 2024 г. на III этапе грунт был разработан до проектной отметки основания вентканала, канатной резкой обрезаны буросекущиеся сваи вокруг обделки ствола № 1237, осуществлен демонтаж 12-ти колец ствола, устроена бетонная подготовка, наклеена гидроизоляция и начат монтаж арматуры днища вентканала.

На рис. 10 показаны фрагменты указанных этапов работ, в том числе алмазная резка железобетонных свай.

Демонтированные и очищенные тюбинги 12-ти колец ствола были складированы на поверхности. Тюбинги находятся в техническом состоянии, позволяющем их использование на других, менее ответственных объектах.

В этот же период было оформлено внутреннее пространство вентканала на участках этапов I и II (рис. 11), а также наземного воздухозаборного киоска.

Вывод: анализ строительства показал, что все работы производились по проекту производства работ, разработанного СМУ-8 в полном соответствии с проектной документацией АО «Мосинжпроект», и согласованному с ГУП «Московский метрополитен».

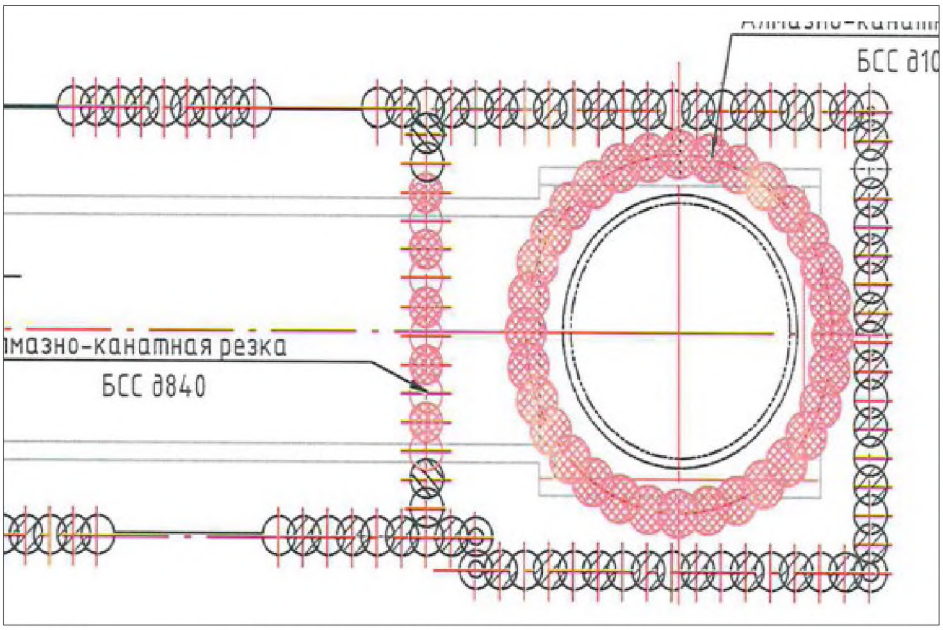


Рис. 9. Ограждение из БСС Д = 1030 мм при строительстве ствола № 1237 (обозначено красным цветом) и из БСС Д = 820 для ограждения котлована для вентканала на этапе III (обозначено серым)

**Окончание, начало см. в № 1 журнала за 2025 г.*



Рис. 10. Фрагменты работ в уровне днища вентканала на этапе III (резка БСС, демонтаж последнего 12-го кольца ствола, устройство основания вентканала, гидроизоляция, армирование днища), а также обрезанные БСС и демонтированные тюбинги на поверхности

Оценка влияния строительства на существующую застройку, геотехнический мониторинг деформаций крепления котлована и массива

Согласно п. 9.36 СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», для котлована, закрепляемого буронабивными секущимися сваями БСС, в проектной документации была определена максимально возможная зона влияния, равная трем глубинам заложения котлована (3Нк = 11м)), в данном случае равной 33 м (на рис. 12 показана зеленым цветом), в которую частично попадает здание Южного дома притча – памятника архитектуры, объекта культурного наследия Федерального значения (рис. 12).

Однако прогнозируемая институтом ООО «Мосинжпроект» оценка зоны влияния строительства, осуществленная методом математического моделирования программным комплексом «Plaxis 3D», составила 18,1 м (на рис. 12 показана красным цветом), т. е. зона влияния строительства не затрагивает здание Южного дома притча.

Эти две зоны были отмечены в отчетах ТАР по НТСС за III и IV кварталы 2023 г., однако при посещении объекта строительства в самом начале устройства котлована для ВВУ в 2023 г. при визуальном обследовании здания Южного дома притча (см. рис. 3) сотрудниками Тоннельной ассоциации России обнаружены и зафиксированы в его цокольной фасадной части многочисленные трещины и сколы (рис. 13).

В проекте была разработана программа мониторинга с целью определения абсолютных и относительных величин деформаций крепления котлована для ВВУ для сравнения их с расчетными (предельно допустимыми) значениями, выявления причин возникновения и степени опасности дополнительных деформаций для нормального производства строительно-монтажных работ и нормальной эксплуатации объектов мониторинга, принятия своевременных мер по борьбе с возникающими деформациями.

Геодезическо-маркшейдерской службой СМУ-8 на основании документации была создана опорная планово-высотная геоде-



Рис. 11. Вид изнутри сооруженного вентканала на этапах строительства I (вверху) и II (внизу)

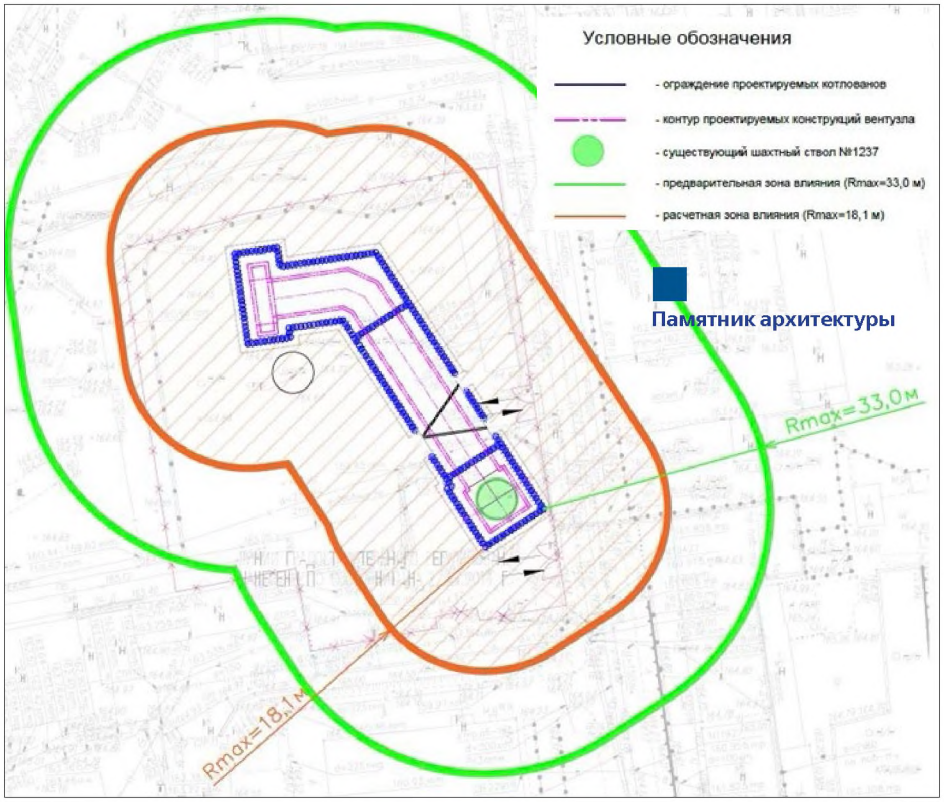


Рис. 12. Зоны влияния строительства котлована ВВУ. Зеленая линия по СП 22.13330.2016), красная линия – рассчитанная по программе «Plaxis 3D»



Рис. 13. Трещины и сколы в цокольной части Южного дома притча

зическая сеть на поверхности, как геодезическая основа для строительства, включающая построение опорной разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных и главных разбивочных осей сооружения, установлены на креплении котлована геодезические знаки (марки).

На рис. 14а показана предусмотренная проектом сеть опорных (рабочих) знаков. Для контроля при строительстве закладываются деформационные знаки (марки) по следующей схеме: в грунтовом массиве через каждые 10–15 м, на ограждение строящегося котлована через каждые 10–15 м.

Проектом установлена цикличность проведения работ по измерению деформаций. «Нулевой» цикл высотных геодезических наблюдений проводится до начала строительных работ не позднее двух недель до начала строительно-монтажных работ. Результаты измерений «нулевого» цикла являются исходными для всех последующих шагов.

По результатам наблюдений выдавались:

- начальный отчет, включающий методы наблюдений за измерениями контролируемых параметров, характеристики применяемого оборудования, результаты оценки точности измерений, схемы фактического расположения участков измерений контролируемых параметров, результаты фиксации их первоначального положения;
- промежуточные отчеты, включающие оперативную информацию по изменениям контролируемых параметров, анализ результатов измерений и их сопоставление с прогнозируемыми и предельными величинами и рекомендации о необходимости дополнительных защитных, компенсационных или противоаварийных мероприятий (при выполнении отклонений контролируемых параметров от ожидаемых величин) и др.;
- итоговый (заключительный) отчет, включающий окончательные результаты фиксации изменений контролируемых параметров, подтверждающие стабилизацию, анализ результатов измерений контролируемых параметров и их сопоставление с расчетными.

СМУ-8 Мосметростроя проводило регулярные маркшейдерские измерения горизонтальных и вертикальных перемещений по всем деформационным маркам, установленным на ограждении котлована. Эти данные передавались в Тоннельную ассоциацию, где производился их анализ и построение графиков динамики деформаций по времени по каждой марке.

На этапах II и III разработки котлована на грунте деформационные марки (круглые желтого цвета) не устанавливались (причина – см. ниже).

За период с 06.10.2023 г. по 18.02.2024 г. маркшейдерской службой участка СМУ-8 было выполнено 44 цикла измерений. Измерения производились по семи фактически установленным на креплении маркам (рис. 14б). В процессе анализа ТАР составлялись обобщенные графики вертикальных и горизонтальных деформаций ограждения котлована, некоторые из которых для иллюстрации показаны на рис. 15 и 16.

Стабилизация перемещений ограждения котлована за всё время наблюдений позволила завершить его деформационный мониторинг в феврале 2024 г.

Анализ обобщенных графиков деформаций показал следующее.

Вертикальные перемещения для всех деформационных марок на ограждении котлована за весь период наблюдений колебались от –5 мм (т. 4) до +11 мм (т. 3), при этом наибольшее «всплывание» испытывает северо-восточная (СВ) стена, но к концу измерений на 09.02.1924 г. эти смещения стабилизировались и уменьшились (в т. 3 на 15 мм, от +11 до –4) после частичной засыпки котлована песком.

Горизонтальные перемещения к центру котлована для всех деформационных марок на его ограждении за весь период наблюдений колебались от –5 мм (т. 4) до +15 мм (т. 3), при этом наибольшее смещение от 3 до 14 мм внутрь котлована испытывает юго-западная (ЮЗ) стена, но к концу измерений эти смещения стабилизировались и уменьшились (в т. 3 на 7 мм) после частичной засыпки котлована песком.

Согласно аналитическому прогнозу АО «Мос-

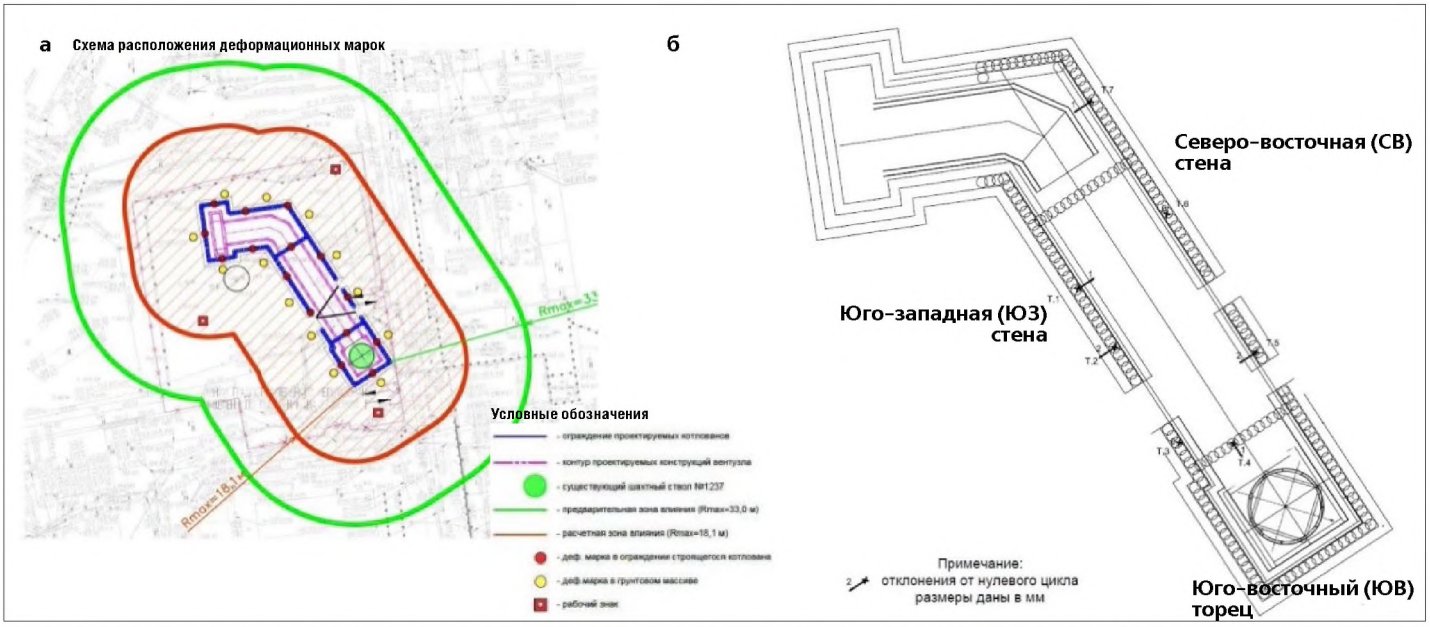


Рис. 14. Схема расположения деформационных марок: а – по проекту, на ограждении котлована и грунте; б – фактическое размещение только на ограждении котлована

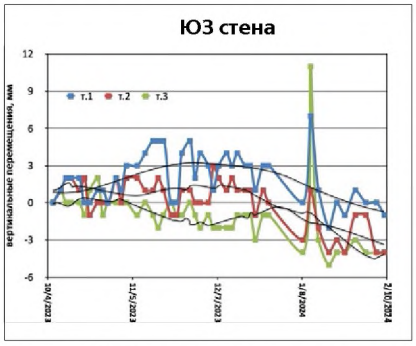


Рис. 15. Обобщенный график вертикальных перемещений ЮЗ стены по маркам тт. 1–3

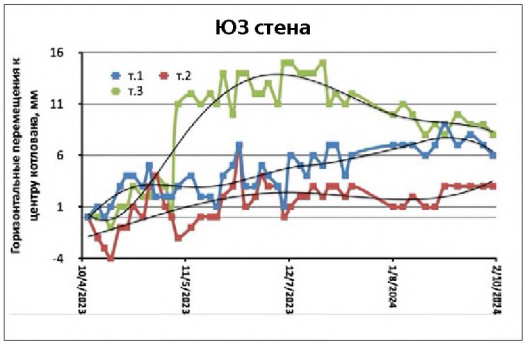


Рис. 16. Обобщенный график горизонтальных перемещений ЮЗ стены по маркам тт. 1–3

инжпроект», максимальные деформации ограждения котлована могли составить 24,8 мм, а наблюдаемые на конец мониторинга максимальные деформации составляли максимум 8 мм, что значительно меньше рассчитанных значений. Это свидетельствует о достаточной жесткости и надежности временного крепления, выполненного строителями.

В связи с этим было принято решение не устанавливать деформационные знаки на грунте, где отсутствовали подвижки грунта и зона деформаций не доходила до памятника архитектуры.

Вывод: мониторинг деформаций котлована на этапах I и II выполнялся в соответствии с программой, предусмотренной проектной документацией, и позволил контролировать в процессе строительства планово-высотное состояние крепления котлована.

Согласно аналитическому прогнозу АО «Мосинжпроект», максимальные деформации ограждения котлована могли составить 24,8 мм, а наблюдаемые на конец мониторинга максимальные деформации составляли максимум 8 мм, что значительно меньше рассчитанных значений. Это свидетельствует о достаточной жесткости и надежности временного крепления, выполненного строителями, а также было подтверждено, что памятник архитектуры не попадает в зону деформаций.

Это позволило однозначно подтвердить, что трещины и сколы на памятнике архитектуры были до начала строительства.

Прочность и эксплуатационная надежность существующей вентиляционной шахты в стволе № 1237 должна была быть обеспечена при условии соблюдения принятой технологии строительства вентканала и безопасного ведения работ по разборке существующего ограждения котлована на этапе III строительства при демонтаже 12-ти колец обделки ствола № 1237.

Для мониторинга деформаций ограждения котлована вокруг демонтируемой чугунной обделки ствола № 1237 с целью контроля обеспечения эксплуатационной надежности частично разбираемого шахтного ствола, маркшейдерской службой СМУ-8 были установлены деформационные марки по схеме, представленной на рис. 17. Марки были закреплены на металлических пластинах, жестко присоединенных к свайному ограждению. Такая конструкция обеспечила получение объективных данных о деформациях ограждения из БСС при раскопке котлована вокруг ствола.

В процессе НТСС Тоннельной ассоциацией был выполнен анализ обобщенных графиков деформаций ограждения котлована на этапе III (рис. 18 и 19), что позволяет сделать вывод, что деформации самого шахтного ствола под защитой ограждения котлована минимальны, по расчету 1мм).

Максимальные дополнительные деформации сохраняемого участка шахтного ствола по результатам расчетов, составят не более 1 мм.

Исходя из полученных расчетных и измеренных данных, сделан вывод, что при строительстве котлована для ВВУ будет отсутствовать негативное влияние на вентиляционный ствол. Иными словами, прочность и эксплуатационная надежность существующей вентиляционной шахты в стволе № 1237 были обеспечены, поскольку при строительстве была соблюдена запроектированная технология строительства вентканала и безопасное ведение работ по разборке существующего ограждения и обделки демонтируемого участка ствола.

Заключение по результатам научно-технического сопровождения строительства верхнего вентиляционного узла вентшахты № 1236 (ствол № 1237)

Работа по НТСС осуществлялась в период с 01.07.2024 г. по 30.06.2024 г. путем систематического посещения сотрудниками ТАР объекта, проверки хода выполнения стро-

ительно-монтажных работ, консультаций работникам строительного участка, анализа записей проектной организации в журнале авторского надзора и журналах производства работ, анализа работ по мониторингу деформаций конструкций строительного объекта, постоянной связи с работниками АО «Мосинжпроект» и технического отдела СМУ-8 по вопросу получения ими директивной и проектной документации, в том числе, при изменении отдельных проектных решений и различных рекомендаций.

Резюмируя результаты научно-технического сопровождения, можно отметить следующие основные моменты.

1. Объект по Градостроительному кодексу РФ характеризуется как особо опасный, технически сложный и в соответствии с Федеральным законом 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и по ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» имеет повышенный уровень ответственности, в связи с чем при его строительстве заказчиком было принято решение о необходимости вести научно-техническое сопровождение, которое осуществила ТАР.

2. Конструкторская документация, разработанная АО «Мосинжпроект» в соответствии с действующими строительными, технологическими и санитарными нормами и правилами, обеспечила конструктивную надёжность и пожарную безопасность объекта, устойчивость объекта в чрезвычайных ситуациях и защиту окружающей природной среды при его эксплуатации.

3. Строительство объекта работниками СМУ-8 Мосметростроя осуществлялось в соответствии с проектной документацией. Выполнение строительно-монтажных работ отличается высоким качеством, присущим организациям Московского метростроя.

4. Для демонтажа временного крепления котлована из БСС, под защитой которых осуществлялось строительство ствола № 1237 в водонасыщенном грунте из чугунных тюбингов, строителями применено инновационное решение – канатно-алмазная резка железобетонных буросекущихся свай, что позволило отказаться от виброударных механизмов и тем самым избежать динамического воздействия на шахтный ствол и окружающее пространство.

5. Мониторинг деформаций котлована выполнялся маркшейдерской службой участка СМУ-8, что позволило систематически контролировать в процессе строительства планово-высотное положение состояния крепления котлована. Согласно геотехническому прогнозу АО «Мосинжпроект» максимальные деформации ограждения котлована могли составить 24,8 мм, а фактически наблюдаемые на конец мониторинга максимальные деформации составили максимум 8 мм, что значительно меньше рассчитанных значений. Это свидетельствует о высоком качестве работы строителей, позволившем обеспечить достаточную жесткость и надежность временного крепления котлована ВВУ. Стабилизация перемещений ограждения котлована позволила завершить его деформационный мониторинг в феврале 2024 г.

6. Незначительные деформации разработанного на достаточно большую глубину котлована для канала ВВУ являются обоснованным отказом от установки деформационных марок на грунте за его пределами, поскольку вероятность, что деформации грунта достигнут основания здания памятника архитектуры Южного дома притча ничтожна. Можно утверждать, что обнаруженные на цокольном этаже здания до начала строительства сколы и трещины, не являются следствием работ строителей по сооружению котлована для ВВУ.

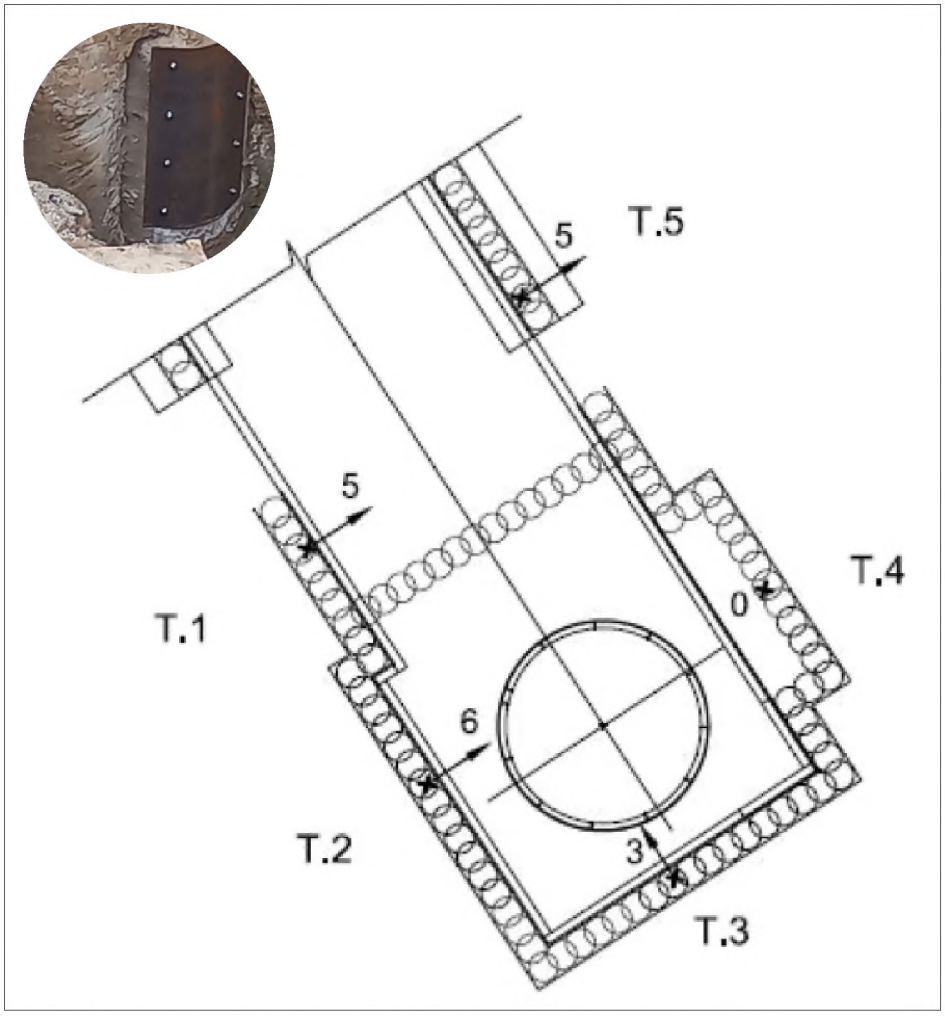


Рис. 17. Размещение деформационных марок на этапе III строительства на ограждении БСС

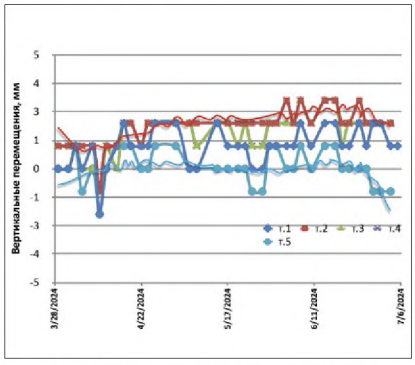


Рис. 18. Обобщенный график вертикальных перемещений

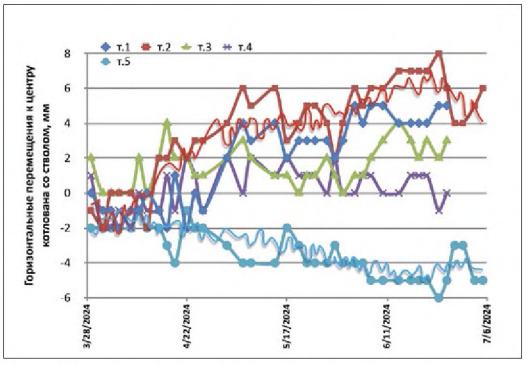


Рис. 19. Обобщенный график горизонтальных перемещений

Для связи с авторами
Дорман Игорь Яковлевич
igor.dorman@mail.ru
Мазеин Сергей Валерьевич
maz-bubn@mail.ru

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА АЗОТНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СООРУЖЕНИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

CHARACTERISTICS OF THE SOIL NITROGEN FREEZING PROCESS DURING THE UNDERGROUND RAILWAY CONSTRUCTION IN SAINT-PETERSBURG



Л. М. Барсуков,
АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», отдел проектирования организации и механизации строительных работ

L. M. Barsukov,
JSC Scientific, research, design and survey institute «Lenmetrogiprotrans», department of construction works organization and mechanization designing России



О. О. Шелгунов,
к. т. н., АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», отдел проектирования организации и механизации строительных работ

O. O. Shelgunov,
Ph.D., JSC Scientific, research, design and survey institute «Lenmetrogiprotrans», department of construction works organization and mechanization designing

В статье рассмотрены технологические особенности процесса азотного замораживания грунтов при сооружении объектов метрополитена в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Приведены температурные и расходные характеристики, полученные в результате контроля процесса азотного замораживания грунтов.

The article provides the technological features of the soil nitrogen freezing process during the underground railway construction in the engineering and geological conditions of St. Petersburg. The temperature and consumption characteristics obtained as a result of monitoring the soil nitrogen freezing process are given.

Строительство объектов метрополитена в Санкт-Петербурге осуществляется в сложных инженерно-геологических условиях. С целью обеспечения безопасности проходческих работ применяются различные специальные способы работ по закреплению неустойчивых водоносных грунтов [1], в том числе зональное замораживание жидким азотом. Использование криогенного продукта позволяет быстро и надёжно консолидировать ограниченные по объёму массивы грунта. Данная технология в нашей стране стала получать распространение с середины 70-х годов прошлого века [2].

В процессе вскрытия сантехнических и технологических скважин различного назначения подземными выработками в затрубном пространстве вокруг ствола скважины в водоносных грунтах формируется противофильтрационное ледогрунтовое ограждение. С этой целью столб жидкого азота, формируемый в обсадной трубе скважины, поддерживается на проектных отметках, произвольно удаленных от забоя данной скважины. Геометрические параметры столба жидкого азота в процессе замораживания контролируются термопарами в режиме реального времени [3]. Первоначально основание столба жидкого азота в стволе скважины фиксировалось лабиринтным уплотнением, что не позволяло качественно замораживать грунты вокруг скважин диаметром более 200 мм в связи с турбулентностью криогенного продукта в процессе теплообмена с грунтом через стенку обсадной трубы скважины, а также из-за значительного веса столба жидкого азота [4]. Специалистами метростроительного комплекса Санкт-Петербурга в середине 90-х гг. были разработаны специальные распределительные насадки для жидкостных зональных скважинных устройств. С тех пор такие устройства используются для замораживания грунтов вокруг скважин диаметром от 250 до 400 мм [4, 5].

Замораживание грунтов относится к скрытым производственным процессам, его эффективность и качество существенно определяют степень безопасности проходческих работ. В связи с этим контроль расхода жидкого азота и показаний многозонной термопары (Т1, Т2, Т3, Т4) в режиме реального времени позволяют вносить оперативные корректировки в технологический процесс и анализировать эффективность проводимых работ. По завершении процесса замораживания на время работ по проходке, вскрытию и обустройству скважины осуществляется термометрический контроль за состоянием замороженного грунта, который носит дискретный характер, устанавливается дежурство с резервным запасом жидкого азота. Обустройство технологических скважин осуществляется после завершения процесса замораживания грунтов и демонтажа жид-



Рис. 1. Устье скважины на этапе дежурного наблюдения за показаниями температурных датчиков

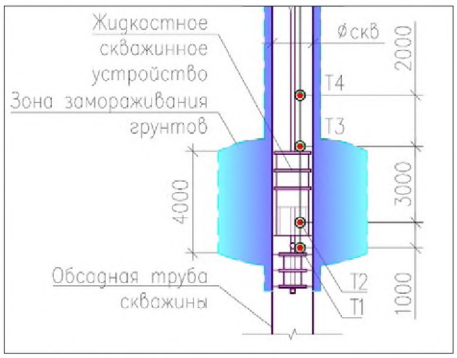


Рис. 2. Принципиальная схема размещения температурных датчиков в жидкостном зональном устройстве

Таблица

Технологические характеристики скважин и процесса замораживания грунтов

N скв.	Характеристики скважин					
	Ø скв., мм (внутренний диаметр скважины)	H слой, м (мощность водонас. слоя)	$H_{прз}$, м (проектная мощность столба жидкого азота)	T, ч (газовый и жидкостной режимы)	$V_{прз}$, т (проектный объем жидкого азота)	TД, ч (время достижения температуры –2 °С)
1	300	0,2	4	16+64	12	166
2		0,25		14+48		312
3				14+34		334
4		0,3		24+42,5		171,5
5				18+40		186
6		0,65		12+50		318
7		0,85		10+37		383
8	150	0,3		14+40	8	88
9		0,65		10+40		216

костных зональных устройств.

В период с весны 2023 г. до лета 2024 г. при сооружении объектов Петербургского метрополитена было осуществлено вскрытие и обустройство 14-ти сантехнических скважин внутренним диаметром от 150 до 300 мм с применением зонального замораживания жидким азотом (рис. 1 и 2). Инженерно-геологические и гидрологические условия в районах ведения работ характеризуются наличием маломощных (от 25 до 85 см) прослоев грунтов, содержащих напорные воды, над сводами сооружаемых прикамерков (от 1,5 до 8–10 м). Результаты контроля при производстве работ позволяют проанализировать особенности процесса замораживания грунтов в данных условиях, выявить косвенные показатели эффективности технологического процесса.

В табл. приведены данные о процессе замораживания девяти сантехнических и технологических скважин, а также косвенные характеристики, полученные в результате анализа данных криогенного расходомера и термометрического контроля (датчики Т1, Т2, Т3, Т4) при замораживании грунтов.

Процесс замораживания грунтов жидким азотом начинается с захолаживания скважины в газовом режиме с целью сохранения целостности обсадной трубы и затрубной цементации – этот период составлял от 10 до 24 ч. После чего осуществляется вывод в рабочий жидкостной режим с постепенным подъемом уровня столба азота до проектной отметки – основной этап работ по сливу жидкого азота составлял от 34 до 64 ч. В зависимости от диаметра скважин масса жидкого азота на газовый и жидкостной режимы замораживания составляла 8 т для скважин диаметром 150 мм и 12 т для скважин диаметром 300 мм. В связи с конструктивно-технологическими особенностями работ по вскрытию скважин подземными выработками и сооружению прикамерков в ряде случаев возникла потребность в дополнительном (резервном) сливе жидкого азота.

По результатам обработки данных рабочих журналов подрядчика по термометрическому контролю и расходу жидкого азота были построены графические зависимости. Наиболее характерные графики технологических процессов приведены на рис. 3 и 4: отражен процесс азотного замораживания грунтов с дополнительным замораживанием резервным запасом жидкого азота в ходе работ по сооружению выработки (после фиксации температурных показаний –2 °С и дальнейшего роста температур до положительных значений).

По результатам анализа технологических процессов азотного замораживания грунтов и показаний термометрического контроля установлено:

- средний удельный расход жидкого азота составил от 39,5 до 72,5 кг м/ч, а также от 42,8

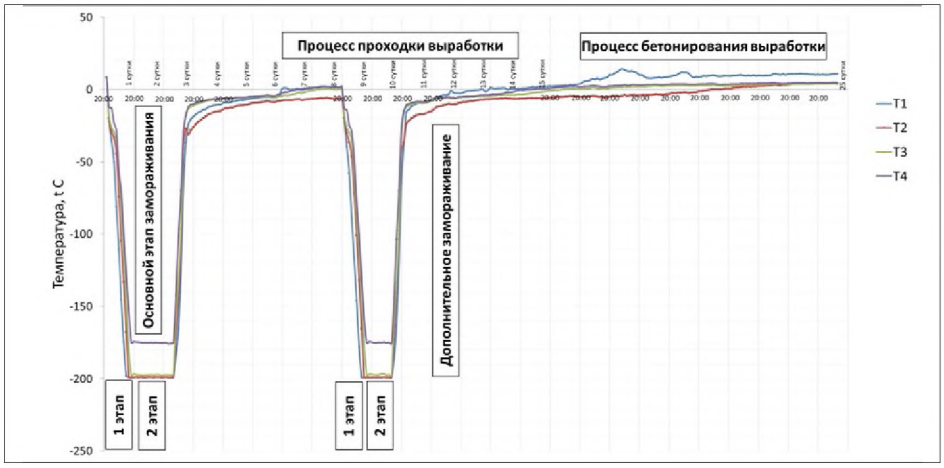


Рис. 3. Типовой график термометрии процесса азотного замораживания грунтов: I этап – газовый режим; II этап – жидкостной режим

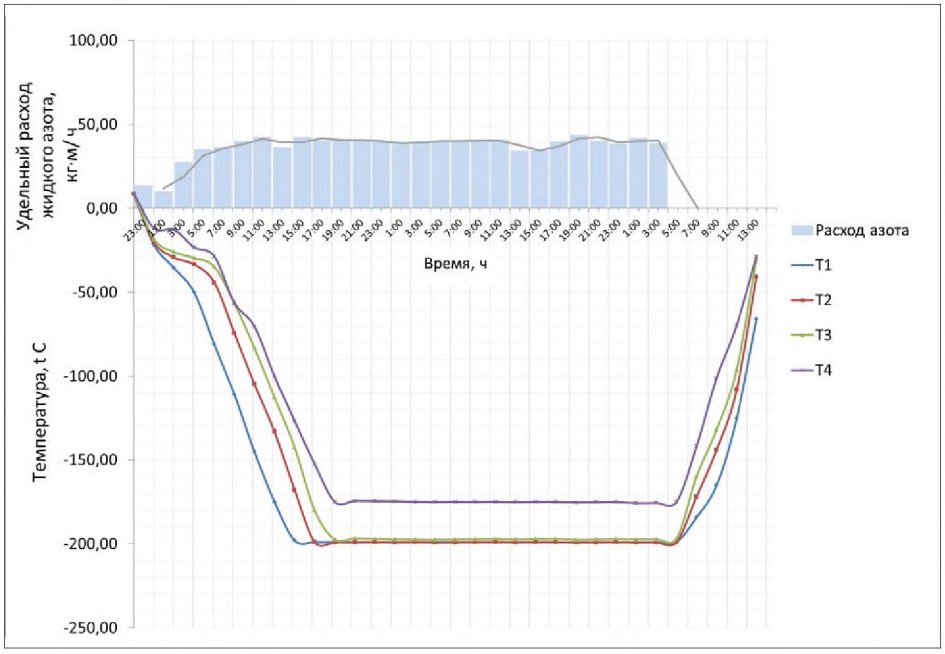


Рис. 4. График зависимости показаний температурных датчиков Т1–Т4 и изменений удельного расхода жидкого азота в процессе основного этапа замораживания

до 111,7 кг·м²/ч;

· время достижения температуры –2 °С в процессе растепления составило от 88 до 383 ч.

Динамика изменений удельного расхода жидкого азота – косвенный показатель, при качественном выполнении работ характеризующий процесс теплообмена между криогенным продуктом и грунтовым массивом. При штатно протекающем процессе замораживания расход жидкого азота уменьшается по мере промерзания грунта до условно постоянного значения. В некоторых скважинах практически постоянно наблюдались колебания расхода, в других был отмечен даже рост расхода, тем не менее наиболее часто встречающимся оказывался расход 60–70 (кг·п. м/ч) 63,24–73,78 (кг·м²/ч) с постепенным снижением.

Время достижения температуры –2 °С после завершения замораживания жидким азотом возможно считать критическим, так как данная температура косвенно свидетельствует о начале растепления грунтового массива в затрубном пространстве. Оттаивание до температуры –2 °С служит ориентиром при комиссионном рассмотрении потребности в дополнительном (резервном) сливе жидкого азота в тех случаях, когда этого может требовать производственная ситуация при сооружении подходных выработок. Среднее время достижения температуры –2 °С составило порядка 168–240 ч (7–10 суток), максимальное время превышало 300–312 ч (13 суток) и достигало 383 ч (~16 суток). В некоторых скважинах из-за близости замораживаемого горизонта к своду прикамерка оттаивание происходило гораздо быстрее, в особенности при интенсивных горнопроходческих работах или бетонировании, поэтому диапазон времени растепления достаточно широкий.

Заключение

Процесс азотного замораживания грунтов остается крайне чувствительным к технологическим особенностям, его эффективность значительно зависит от квалификации персонала подрядной организации, а также состояния технологического оборудования (расходомер криогенной цистерны, система контроля температуры в стволе замораживаемой скважины). В частности, при осуществлении термометрического контроля процесса замораживания, возможно лишь косвенно оценивать состояние и температуру формируемого противофильтрационного ледогрунтового ограждения в затрубном пространстве скважины. Степень детализации инженерно-геологических изысканий может также оказывать весомое влияние на эффективность замораживания грунтов жидким азотом. Логистика и стабильность криогенного обеспечения строительства, координация между организациями, осуществляющими замораживание грунтов и горнопроходческие работы, а также конструктивно-технологические особенности прикамерка могут в значительной степени влиять на время оттаивания и интенсивность растепления.

В сравнении с другими способами замораживания грунтов, азотная технология имеет ряд преимуществ при закреплении относительно небольших объемов грунта, а именно:

· экологическая безопасность, поскольку жидкий азот не загрязняет грунт, а при испарении полностью уходит в атмосферу;

· высокая скорость и эффективность замораживания, так как температура жидкого азота достигает –196 °С;

· мобильность процесса, поскольку для проведения процесса азотного замораживания не требуется наличие значительных энергомощностей;

· экономичность, так как при наличии технологических или сантехнических скважин не требуется бурения дополнительных замораживающих скважин.

Все вышеизложенное характеризует технологию азотного замораживания как наиболее эффективную при решении задач локализованного закрепления неустойчивых водоносных грунтов.

Ключевые слова

Специальные способы работ, азотное замораживание грунтов, ледогрунтовое ограждение, жидкий азот.

Special methods of construction works, soil nitrogen freezing, ice-soil fencing, liquid nitrogen.

Список литературы

1. Комбинированная технология закрепления грунтов в подземном строительстве Санкт-Петербурга / В. А Марков, И. В. Ильин, Л. М. Барсуков, Д. Ю. Артюхов, М. С. Светикова // Метро и тоннели. – 2016. – № 6. – С. 59–60.

2. Авторское свидетельство № 588289 СССР, МПК Е 02 D 3/12, Устройство для замораживания грунта: №2191946/33: заявл. 21.11.1975 г.: опубл. 15.01.1978 г. / Н. А. Бучко, С. Х. Дукаревич, В. М. Капустин, Н. И. Кулагин и др. – Бюл. № 2.

3. Филонов, Ю. А. Автоматизированная система «СКАТ-24» / В. А. Маслак, М. О. Райнус // Научно-технический журнал тоннельной ассоциации «Метро». – 1998. – № 1–2. – С. 23.

4. Способ зонального азотного замораживания грунтов / Ю. А. Филонов, Ю. Ф. Герусов, М. О. Райнус, Л. М. Барсуков // Научно-технический журнал тоннельной ассоциации «Метро». – 1998. – № 1–2. – С. 22.

5. Патент № 2149240 Рос. Федерация, МПК Е 02 D 3/115, Устройство для зонального азотного замораживания грунтов: № 98112957/03: заявл. 24.06.1998 г.: опубл. 20.05.2000 г./ В. Н. Александров, Ю. А. Филонов, В. А. Маслак, В. А Марков, Ю. Ф. Герусов, Л. М. Барсуков, М. О. Райнус – патентообладатель ОАО по строительству метрополитена в Санкт-Петербурге «Метрострой».

Для связи с авторами

Шелгунов Олег Олегович
OShelgunov@lmgt.ru
Барсуков Леонид Михайлович
LBarsukov@lmgt.ru

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ В СОСТАВЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕТРОПОЛИТЕНА



А. А. Шульгина,
геодезист ГБУ «Мосгоргеотрест»



С. Н. Переломов,
начальник сектора геодезического сопровождения ГБУ «Мосгоргеотрест»



А. А. Вдовин,
заместитель управляющего ГБУ «Мосгоргеотрест»

В работе приводятся задачи интегрирования технологии лазерного сканирования в процесс производства обмерных работ при проведении обследования объектов подземной инфраструктуры метрополитена с учетом их специфики.

Актуальность

Современные подземные транспортные системы характеризуются постоянным ростом протяженности и сложности инженерной инфраструктуры. Увеличение нагрузки на объекты метрополитена требует внедрения технологий, обеспечивающих оперативную и точную оценку их технического состояния. Одной из таких технологий стало лазерное сканирование, позволяющее получить трехмерную визуализацию объекта с необходимой точностью.

В данной статье рассматривается практический опыт применения различных систем лазерного сканирования при обследовании подземных объектов метрополитена. Особое внимание уделено специфике работы в условиях ограниченного пространства, анализу получаемых данных и их дальнейшему использованию, в том числе для построения BIM-моделей.

Принцип технологии лазерного сканирования

Существуют два основных типа лазерных сканеров: фазовые и импульсные. Фазовые обеспечивают высокую точность на малых расстояниях, что делает их удобными для сканирования станций метро и малых объектов. Импульсные сканеры позволяют сканировать на дистанции более 100 м. Технология лазерного сканирования позволяет получать трехмерные массивы точек, каждая из которых имеет информацию о пространственных координатах и интенсивности отражения электромагнитного излучения. Лазерное сканирование отличается скоростью получения данных и эффективностью объема информации.

Потенциал применения технологий лазерного сканирования

Лазерное сканирование становится неотъемлемой частью цифровой трансформации инфраструктурных объектов. В перспективе технология позволит не только фиксировать текущие геометрические характеристики конструкций, но и интегрироваться с системами мониторинга, системами предиктивного анализа и цифровыми двойниками объектов. Сканированные данные могут использоваться для автоматического контроля деформаций, анализа усталости материалов и предсказания зон потенциальной аварийности.

Нормативная база и зарубежный опыт

На международной арене технология лазерного сканирования активно используется в Германии, Великобритании, США и Китае. Основными нормативными документами, регулирующими применение лазерного сканирования при обследовании инженерных сооружений, являются ISO 17123-6, PAS 128 и различные отраслевые стандарты. В России отсутствует единый ГОСТ, регламентирующий требования к результатам лазерного сканирования, однако в 2020 г. был опубликован проект национального стандарта, находящийся в стадии обсуждения.

В метрополитенах, на практике, применяются внутренние регламенты технических служб, адаптированные под конкретные задачи.

Экономическая эффективность применения лазерного сканирования

Хотя первоначальные затраты на приобретение оборудования и программного обеспечения для лазерного сканирования могут быть значительными, в долгосрочной перспективе технология демонстрирует высокую экономическую эффективность. За счёт сокращения сроков обследования, повышения точности, снижения количества выездов и уменьшения человеческого фактора достигается снижение общих затрат на диагностику и ремонт объектов.

Точность технологии лазерного сканирования

Говоря о точности получаемых данных при выполнении лазерного сканирования, стоит рассматривать следующие составляющие:

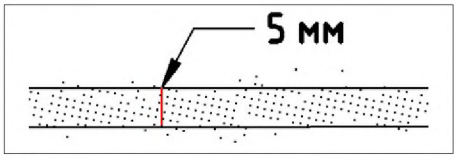


Рис. 1. Шум дальномера наземного лазерного сканера Trimble TX8

- технические характеристики прибора (СКО измерения наклонного расстояния m_s, СКО измерения угла m_β СКО работы компенсатора $m_к$)

$m^2_{п.п.} = m^2_s + m^2_\beta + m^2_к$ – СКО планового положения точки;

- альбедо (коэффициент отражения поверхности);
- индекс преломления плотности атмосферы (зависит от температуры и давления);
- регистрация массива точек (совмещение смежных станций сканирования).

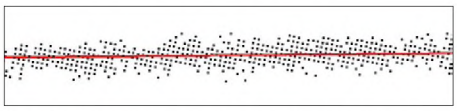


Рис. 2. Аппроксимация данных массива точек

Результирующим параметром точности лазерного сканирования является шум дальномера (рис. 1), то есть сканируемая поверхность в массиве точек имеет толщину, значение которой непостоянно и зависит от изменения поверхности сканирования, дистанции, а также параметров окружающей среды.

Как следствие, мы получаем большой объем избыточных данных, при работе с которым реализуется метод аппроксимации, то есть приближения к истинному положению поверхности (рис. 2).

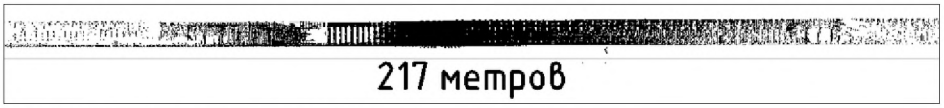


Рис. 3. Плотности точек на станции сканирования

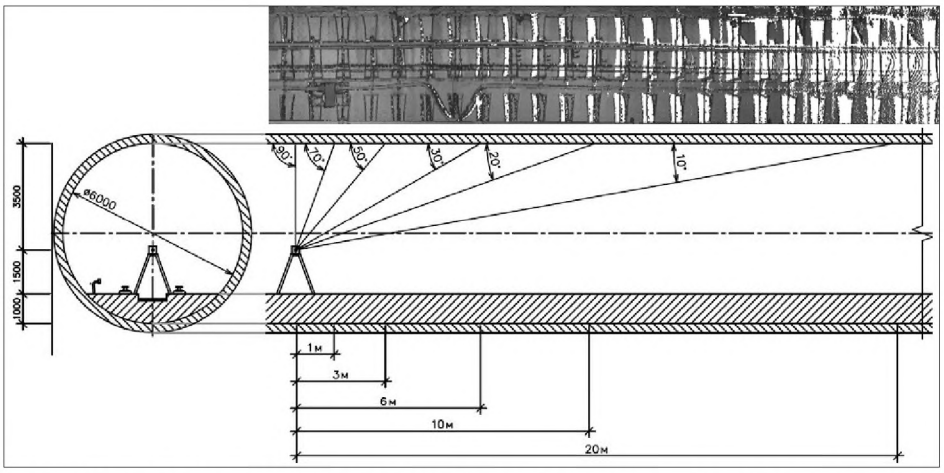


Рис. 4. Изменение плотности облака точек при разных дистанциях сканирования

Таблица 1

Технические характеристики наземного лазерного сканера Trimble TX8

Параметр	Значение
Метод измерения	Импульсный
Дальность измерения расстояния	min 0,6 м, max 120 м
Скорость сканирования	1000000 т/с
Диаметр пучка лазерного луча	6–34 мм на 10–100 м
Расстояние между точками в массиве	7–76 мм на 10–100 м
СКО измерения углов	16
Шум дальномера	~3 мм
Время сканирования одной станции	~2 мин
Область сканирования	360°×317°

Задача сканирования подземных линейных объектов

Лазерные сканеры, прилагаемые для выполнения интерьерной съемки, имеют максимальную дистанцию, составляющую порядка 100 м. Такая дальность измерений позволяет сканировать помещения с большей площадью, сокращая при этом количество станций съемки. Однако здесь также стоит учитывать «полезную» дистанцию сканирования, то есть максимальное расстояние, при котором массив точек корректно отображает атрибутивы объекта и имеет достаточную плотность для дальнейшей регистрации смежных станций. Так при производстве обмерных работ на подземных линейных объектах метрополитена, например, перегонном тоннеле или вентиляционном комплексе, понимание значения «полезной» дистанции сканирования позволяет достигать эффективного выполнения в условиях работы в ночное время.

Рассмотрим причину возникновения данного явления на примере станции сканирования перегонного тоннеля кругового сечения диаметром 6 м. Максимальная дистанция, которую достиг лазерный луч, составила порядка 100 м. При этом с увеличением расстояния между источником излучения (лазерным сканером) и поверхностью сканирования можно наблюдать ухудшение плотности облака точек (рис. 3).

Согласно закону отражения света, отраженный луч лежит в одной плоскости с падающим лучом и перпендикуляром, проведенным к границе раздела двух сред в точке падения.

Таблица 2

Изменение плотности облака точек на съемочной поверхности при разной дистанции сканирования

Дистанция от прибора, м	Заявленная плотность массива точек, мм	Угол касания луча, градус	Плотности массива точек на поверхность, мм	Оценка плотности массива
10	7	20	20	Достаточна
20	15	10	85	Достаточна
30	23	6	219	Не достаточна
50	38	4	541	Не достаточна
100	76	2	2233	Не достаточна

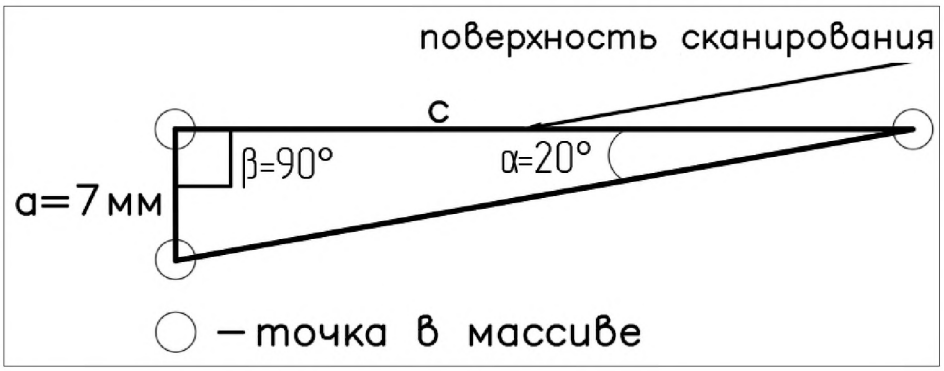


Рис. 5. Проекция точек на поверхность сканирования

То есть, для того чтобы получить избыточное количество дальномерных измерений угол между источником излучения и сканируемой поверхностью должен быть приближен к 90°. При этом, неровность сканируемой поверхности приводит к диффузному отражению (рассеиванию лазерного луча), что при производстве измерений на больших дистанциях характеризуется недостаточным количеством необходимых измерений для отображения геометрии объекта (рис. 4).

Приведем пример расчета плотности мас-

сива точек для дистанции 10 м со следующими исходными данными: диаметр перегонного тоннеля 6 м, угол между лазерным лучом и сканируемой поверхностью 20° (согласно рис. 4), плотность массива точек 7 мм в стандартном режиме (согласно табл. 1).

Заявленная плотность массива точек на расстоянии 10 м составляет α = 7 мм. Однако это значение справедливо, если между лучом лазера и поверхностью сканирования образован угол в 90°. Сканирование в перегонных тоннелях выполняется по касательной. Спроецируем измерения на поверхность сканирования и по теореме синусов вычислим плотность проекции массива точек (рис. 5).

Теорема синусов имеет вид:

$$\frac{a}{\sin\alpha}=\frac{b}{\sin\beta}=\frac{c}{\sin\gamma} \quad (1)$$

Тогда, по формуле (1) получим, что расстояние между точками в массиве:

$$c=7мм\times\frac{\sin 70^{o}}{\sin 20^{o}}=20мм \quad (2)$$

Аналогичные расчеты произведены для дистанций 20, 30, 50 и 100 м, результаты которых представлены в табл. 2.

На основании полученных данных, можно сделать вывод, что для наземного лазерного сканера Trimble TX8 оптимальная дистанция сканирования должна находится в диапазоне от 10 до 20 м.

Малые углы сканирования также актуальны для шахт вентиляционных комплексов. Однако не всегда имеется возможность производить сканирование непосредственно в стволе шахты по причине технического состояния лестничных пролетов. В следствии чего, в настоящее время съемка выполняется наземным лазерным сканером на верхнем и нижнем уровнях. Станции сканирования располагаются равномерно над стволом шахты и под ним. Съемка ведется в режиме высокой плотности, необходимой для достижения перекрытия между уровнями шахты. Однако при использовании такой методики середина шахты остается не отсканированной (рис. 6).

Полученный массив точек не имеет достаточный объем информации о геометрических параметрах ствола и имеющихся атрибутивов.

Для решения данной задачи ГБУ «Мосгоргеотрест» совместно с АО «Прин» провели апробацию технологии воздушного лазерного сканирования с применением БПЛА и установленного на него лидара Livox MID-360, а также технологии SLAM с применением Navmopo Trion P1.

Технология SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) позволяет одновременно строить карту пространства и определять местоположение сканера без использования ГНСС-аппаратуры. Это критически важно в условиях метрополитена, где спутниковая навигация недоступна. Современные портативные SLAM-сканеры, такие как Navmopo Trion, GeoSLAM ZEB Horizon или Leica BLK2GO, позволяют в короткие сроки зафиксировать геометрию объекта даже в труднодоступных участках, например, в криволинейных тоннелях, шахтах и камерах переключений.

Результатом работы являются массивы точек шахты вентиляционного комплекса с отображением всей геометрии объекта (рис. 7 и 8).

В процессе камеральной обработки данных проведен сравнительный анализ по следующим критериям оценки: величина шума лазерного излучения и степень визуализации.

Для определения величины шума лазерного излучения массивов точек выполнены измерения на основании поперечных сечений. Так, для лазерных сканеров Navmopo Trion P1 (рис. 9) и Livox MID 360 (рис. 10) величины шума максимально составили 7 и 55 мм соответственно.

Для определения степени визуализации выполнено сравнение двух панорамных видов (рис. 11). На массиве точек, полученном по результатам сканирования мобильным сканером, четко различим конструктив лестничного марша, а также тоннельной обделки. Результаты сканирования с лидара Livox MID 360 не показали достаточной визуализации: контуры конструктивов размыты, а также наблюдается их задваивание.

Также для выявления различия двух результатов сканирования произведено сравнение массивов точек в ПО NanoCAD ReClauds (рис. 12 и 13). За эталон были приняты результаты сканирования мобильным лазерным сканером Navmopo Trion P1, так как они соответствуют значениям контрольных промеров.

Выявленное отклонение результатов массива точек Livox MID 360 связано с ошибками внутреннего уравнивания.

На основании выполненных сравнений можно сделать вывод, что оптимальным выбором применяемой технологии на объектах вентиляционных комплексов является мобильное лазерное сканирование, так как сканирующая система в мобильных сканерах отвечает требованиям точности, визуализации и времени производства работ. Однако, как отмечалось ранее, техническое состояние лестничных маршей не всегда позволяет производит работы непосредственно в шахте.

Также говоря о результатах БПЛА-съемки стоит отметить, что лидары, отвечающие требованиям, выдвигаемым к обмерным работам сооружений, имеют большой вес. Как следствие, такое оборудование должно устанавливаться на БПЛА с высокой грузоподъемностью. При этом с увеличением данного фактора увеличиваются и габариты летального аппарата, что отрицательно влияет на маневренность в стесненных условиях объектов инфраструктуры метрополитена.

Перспективные направления

Совмещение данных лазерного сканирования с тепловизионной съемкой

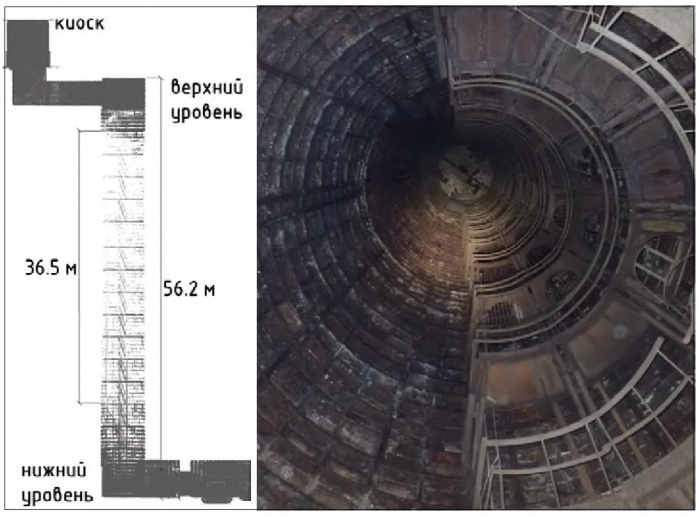


Рис. 6. Лазерное сканирование шахты вентиляционного комплекса



Рис. 7. Массив точек, полученный с мобильного лазерного сканера Navmopo Trion P1 (окраска RGB)

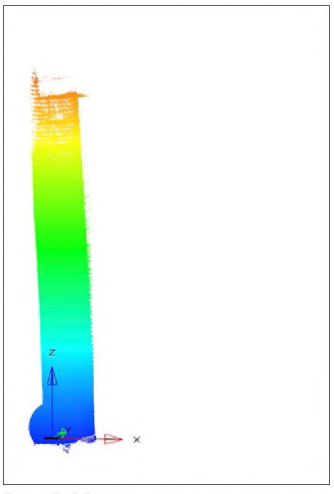


Рис. 8. Массив точек, полученный с лидара Livox MID 360 (окраска по высоте)

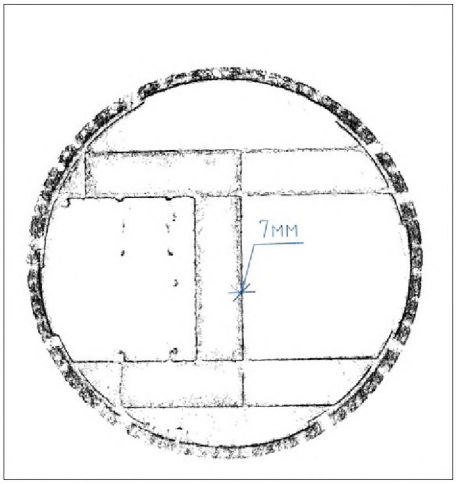


Рис. 9. Поперечное сечение, полученное с мобильного лазерного сканера Navmopo Trion P1

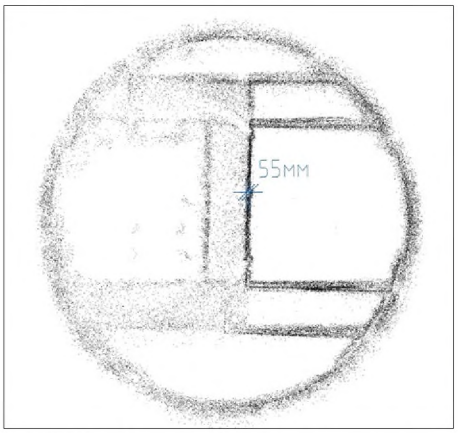


Рис. 10. Поперечное сечение, полученное с лидара Livox MID 360

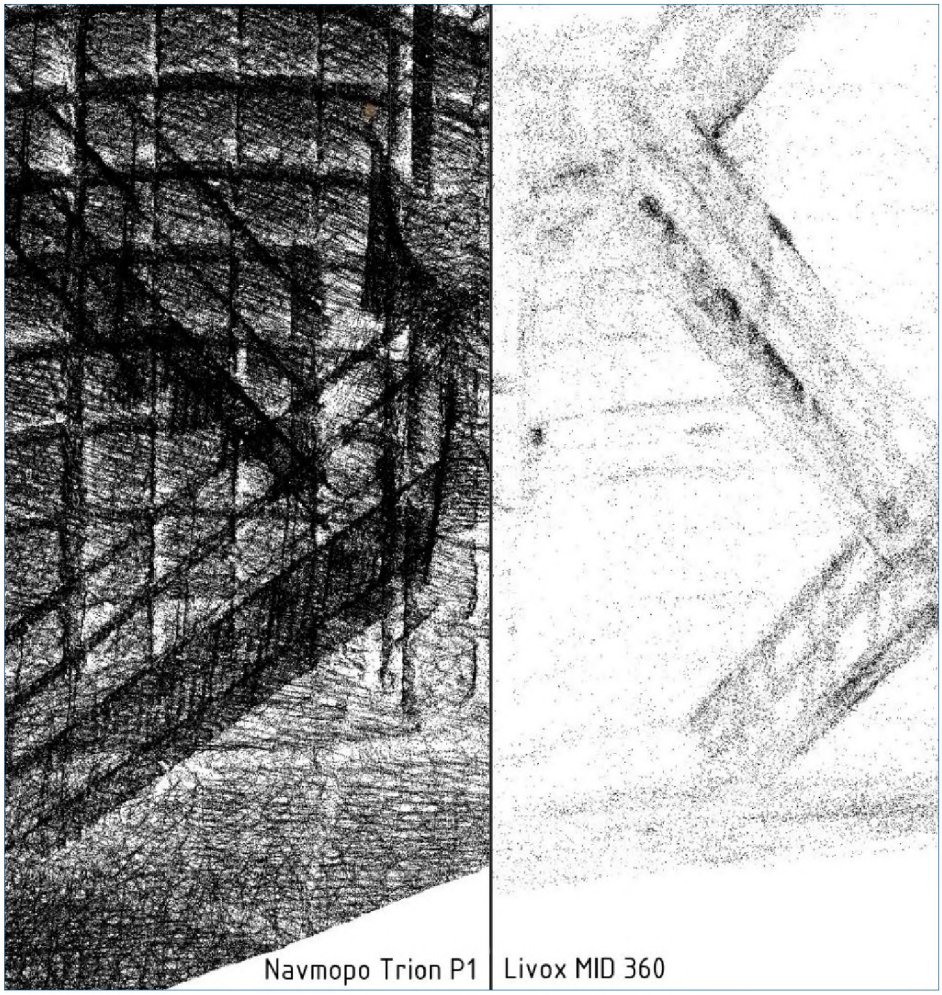


Рис. 11. Сравнение степени визуализации

Интеграция данных лазерного сканирования с результатами тепловизионной съёмки открывает новые горизонты для комплексной диагностики инженерных сооружений. Тепловизоры позволяют выявлять аномалии температурного поля, такие как скрытые протечки, недостаточную теплоизоляцию и зоны интенсивного воздухообмена. При наложении этих данных на высокоточные 3D-модели, полученные с помощью лазерного сканирования, становится возможным более точное определение мест локализации дефектов и построение комплексных карт состояния объектов.

Так, в рамках технического обследования вентиляционного ствола, сочетание лазерного сканирования и тепловизионной съёмки выявило локальные зоны теплопотерь, невидимых визуально. Это позволило оперативно локализовать дефектные участки и провести ремонт.

Автоматизация обработки данных лазерного сканирования с применением технологии ИИ

Существенным барьером к широкому внедрению 3D-сканирования ранее была сложность и трудоемкость обработки облаков точек. Сегодня на помощь приходят инструменты автоматизации: нейросетевые алгоритмы сегментации, классификации и фильтрации позволяют с высокой точностью определять границы конструкций, выявлять отклонения от проектных форм и даже отслеживать изменения по временным срезам. Программные решения, такие как Trimble RealWorks, FARO Scene, Bentley ContextCapture и NanoCAD ReClauds уже включают модули автоматической очистки и объединения данных. Исследования 2025 г. показывают, что интеграция лидаров с AI-модулями позволяет автоматически классифицировать дефекты обделки тоннеля по степени критичности, сокращая камеральную обработку на 35 %.

Интеграция с цифровыми двойниками

Цифровой двойник – это виртуальное представление физического объекта, синхронизированное с его реальным состоянием. Лазерное сканирование предоставляет основу для создания точной геометрической модели объекта, которая затем дополняется атрибутивной информацией из BIM-систем. Применение цифровых двойников позволяет оперативно оценивать изменения в конструкции, автоматизировать мониторинг и предсказывать риски на ранней стадии. Кроме того, данные лазерного сканирования могут многократно использоваться на разных этапах жизненного цикла объекта – от проектирования до эксплуатации и модернизации

Заключение

На основе проведенного анализа можно сделать следующие обобщённые выводы.

1. Технологии лазерного сканирования обладают необходимой точностью производства работ по техническому обследованию и позволяют формировать детальные цифровые модели подземных объектов, обеспечивая достоверную геометрическую информацию.
2. Сканирование в тоннелях требует учета специфических факторов: ограниченное пространство, отражающая способность материалов, малые углы падения лазерного луча, а также геометрическая протяжённость объектов.
3. Оптимальные параметры сканирования (дистанция, плотность точек, угол отражения) варьируются в зависимости от типа оборудования и характера обследуемых объектов. Использование данных производителя в сочетании с инженерными расчетами позволяет повысить эффективность полевых работ.
4. Совмещение данных лазерного сканирования с тепловизионной съёмкой создаёт условия для всесторонней оценки состояния конструкций: обнаружения не только гео-

метрических, но и термических аномалий, связанных с нарушениями теплоизоляции или протечками.

5. Использование SLAM-сканеров критически важно при обследовании объектов без прямой видимости и доступности ГНСС-сигнала. Их мобильность и способность к непрерывному сбору данных делает возможной съёмку даже в шахтах и стеснённых пространствах.

6. Облака точек, полученные с различных типов сканеров (наземных, мобильных, воздушных), требуют детальной постобработки, уравнивания, фильтрации и классификации. Использование специализированного ПО (ReClauds, FARO, Trimble RealWorks и т. д.) позволяет упрощать процессы.

7. Интеграция результатов сканирования в BIM-среду и создание цифровых двойников объектов метрополитена обеспечивает поддержку решений в рамках эксплуатации, ремонта и модернизации.

8. Экономический эффект от применения лазерного сканирования выражается в снижении сроков и стоимости обследований, повышении безопасности и возможности многоразового использования полученных данных.

9. Международный и отечественный опыт показывает, что за счёт внедрения лазерного сканирования возможно сократить не только время обследования, но и получить объективные данные, пригодные для аналитики и проектных решений.

10. В дальнейшем развитие технологии связано с автоматизацией обработки, применением ИИ для выявления дефектов, совершенствованием мобильных платформ и унификацией стандартов сбора и представления данных.

Лазерное сканирование демонстрирует высокую эффективность в задачах обследования подземной инфраструктуры метрополитенов. Благодаря высокой точности, скорости и совместимости с цифровыми технологиями, метод открывает новые возможности для модернизации, диагностики и управления жизненным циклом подземных сооружений. Будущее за комплексными решениями, включающими мобильные и беспилотные сканеры, автоматизированную обработку, тепловизионный и радиолокационный мониторинг, а также интеграцию с цифровыми двойниками. Цифровая трансформация метрополитенов невозможна без широкого внедрения технологий лазерного сканирования.

Ключевые слова

Лазерный сканер, БПЛА-съемка, шахта вентиляционного комплекса

Для связи с авторами

Шульгина Анна Андреевна
shulginaaa@str.mos.ru

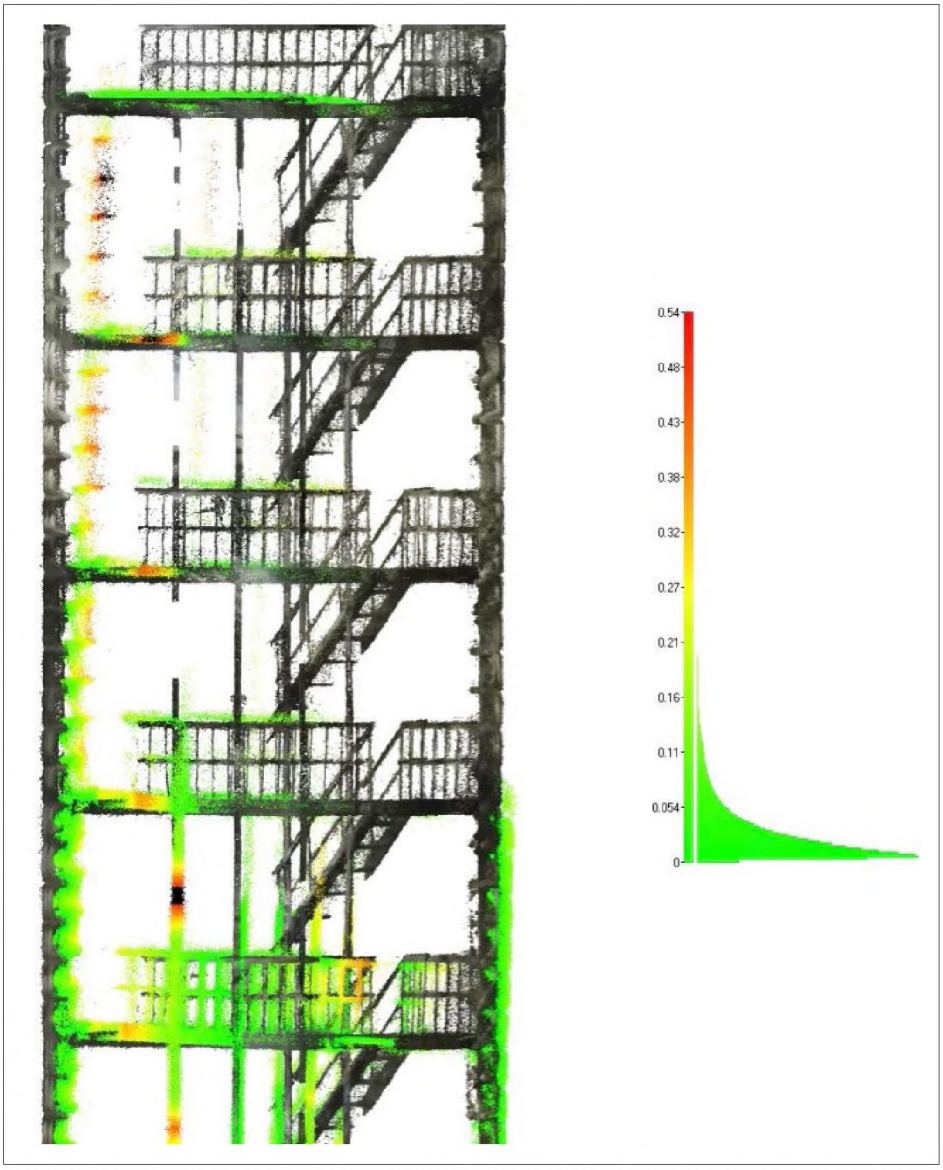


Рис. 12. Отклонение массива точек, полученное с лидара Livox MID 360 в вертикальной плоскости

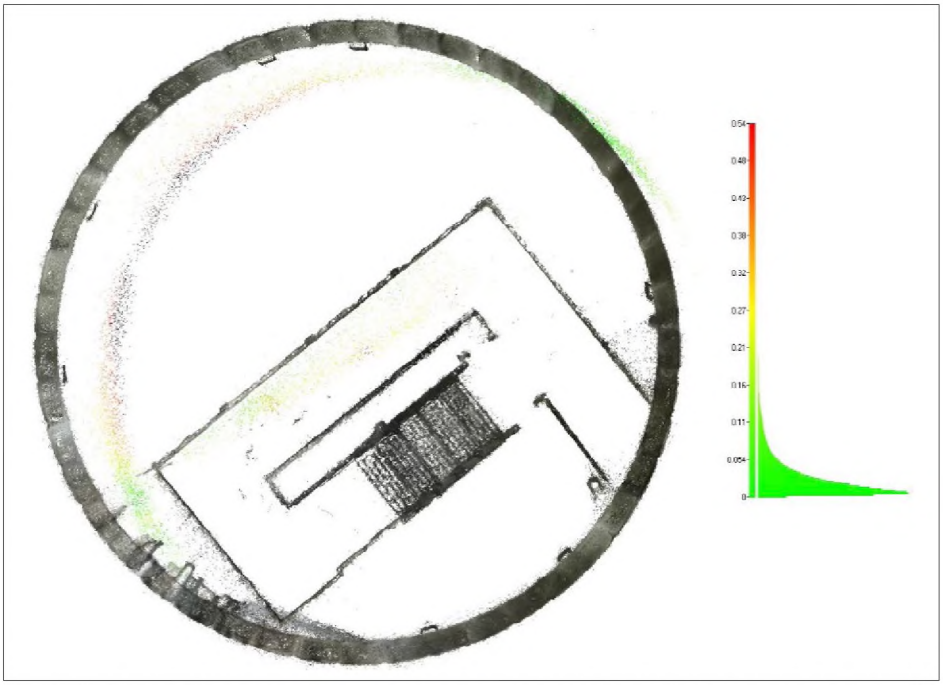


Рис. 13. Отклонение массива точек, полученное с лидара Livox MID 360 в горизонтальной плоскости

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТОПЛЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЗАЩИТЫ ПРОЕКТИРУЕМЫХ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА

MODEL ANALYSIS OF SURFACE WATER FLOODING FOR DESIGNED METRO STATIONS PROTECTION



Е. М. Гоконова,
технический директор, ООО «ЭКХАЙДЕН», г. Москва

E. M. Gokonova
Engineering Director, EC'HYDEN LLC, Moscow, Russia



Л. Е. Казанов
инженер, Сибирский государственный университет путей сообщений

L. E. Kazanov
Engineer, Siberian Transport University, Novosibirsk

При выпадении осадков, особенно в летний период, зачастую наблюдаются затопления городских территорий, которые приводят к значительному ограничению движения городского транспорта, в том числе и подземного, а также другим негативным последствиям.

При проектировании новых станций метрополитена в настоящее время важно обращать внимание на недопущение попадания поверхностных дождевых вод внутрь наземных сооружений проектируемых станций. Действующий свод правил «Метрополитены» требует исключать возможность затопления станционного комплекса при выпадении дождевых осадков с вероятностью превышения высшего уровня вод один раз в 300 лет.

В серии проектов, выполненных ООО «ЭКХАЙДЕН» совместно с Тоннельной ассоциацией России для нужд АО «Мосинжпроект», были рассмотрены несколько проектируемых станций Московского метрополитена, расположенных на разных линиях: Бирюлевской, Троицкой, Арбатско-Покровской, Рублёво-Архангельской и Люблинско-Дмитровской. Работы выполнялись с применением компьютерного моделирования для дождевых осадков с заданными условиями.

Целью этих проектов являлось определение уровней воды (глубин) и построение карт затоплений в районе расположения входов в станционные комплексы, вентиляционных киосков общеобменной и тоннельной вентиляции и иных сооружений, попадающих в охранную зону метрополитена, для выдачи проектных решений по их защите от затоплений.

Особое внимание уделялось дождевым осадкам с периодом однократного превышения P = 300 лет (повторяемость дождя один раз в 300 лет). Ввиду того, что на сегодняшний момент на метеостанциях не существует таких длительных рядов наблюдений, то получение расчётного слоя осадков такой повторяемости становится нетривиальной задачей.

During precipitation, especially in summer, flooding of urban areas is often observed, which leads to significant restrictions on urban transport, including underground, as well as other negative consequences.

Currently it is important to pay attention to preventing surface rainwater from entering the surface structures of the projected stations during subway designing. The current code specification "Subways" at the time of writing requires that the possibility of flooding of the station in case of precipitation with a probability of exceeding the high-water level once every 300 years be excluded.

In a series of projects carried out by EC'HYDEN LLC together with the Tunnel Association of Russia for the needs of Mosinzhproekt JSC, several designed stations of the Moscow metro located on different lines were considered: Biryulevskaya, Troitskaya, Arbatsko-Pokrovskaya, Rublevo-Arkhangelskaya, Lyublinsko-Dmitrovskaya. The work was carried out using computer simulation for precipitation with specified conditions.

These projects aim was to determine water levels (depths) and flood maps generation in the area of the entrances to the metro stations, ventilation booths for local and tunnel ventilation systems and other structures falling into the protected area of the metro, in order to issue design solutions for their protection from flooding.

Special attention was paid to rainfall with a probability of exceeding the high-water level once in P = 300 years. Due to the fact that currently there are no such long-term series of observations at meteorological stations, it becomes a non-trivial task to obtain an estimated precipitation column of such repeatability.

Городские затопления и транспортные тоннели

Тема наводнений сейчас достаточно актуальна. Возможно, у многих читателей ещё на слуху недавнее разрушительное наводнение, вызванное проливными дождями в Европе в ноябре 2024 г. Некоторые СМИ отмечают катастрофический характер этих дождевых паводков. Особенно потерпела серьёзный урон Испания. При таких чрезвычайных ситуациях страдают не только здания и сооружения населённого пункта, но и инфраструктура городского транспорта, включая наземный и подземный транспорт. Зачастую подвергаются затоплению станции метрополитена, автомобильные и железнодорожные тоннели, подземные паркинги и другие объекты. «Исключительно обильным» на дождевые паводки был и 2021 г., когда подверглись значительным затоплениям как европейские мегаполисы, так и крупные азиатские города. В качестве примера можно обратиться к двум таким случаям, произошедшим в Испании и Китае (рис. 1 и 2 соответственно).

К сожалению, такие паводковые ситуации не исключение и для России. 13 июня 2024 г. на Москву обрушились сильные ливни. По информации ведущего специалиста московского Метеобюро Татьяны Позднякової за 6 часов в столице выпало более месячной нормы осадков [1]. «Тринадцатого июня всего лишь 2 миллиметра дождя не хватило, чтобы перекрыть абсолютный суточный максимум этого дня. Он по-прежнему принадлежит 13 июня 1963 г.», – написала г-жа Позднякова в Telegram-канале. Последствия такого экстремального дождя можно увидеть на фотографиях ниже (рис. 3). По данным метеобюро, в каждом округе г. Москвы (за исключением Восточного и Юго-Восточного), как минимум один датчик осадков зафиксировал их суммарное количество, значительно превышающее климатический рекорд. За сутки по данным СМИ:

- в центре Москвы выпало 21,6 мм осадков;
- на юго-западе и юге города – 19,7 и 17,8 мм;
- в Северном и Северо-Восточном округе – 87,2 и 80,6 мм;
- на западе – 55,8 мм;
- на северо-западе – 53,1 мм.

Сильнее всего пострадали Северный и Северо-Восточный округа столицы. Были затоплены улицы, подвалы, подземные паркинги, потерпел урон наземный городской транспорт (рис. 3).

Дождевые воды в тот день добрались и до метро. На фотографиях очевидцев отчётливо видны затопленные рельсы как на станции открытого типа (рис. 4), так и затопленная подземная часть станции, куда потоки воды поступали извне по лестнице (рис. 5).

Математическое моделирование в помощь проектировщикам

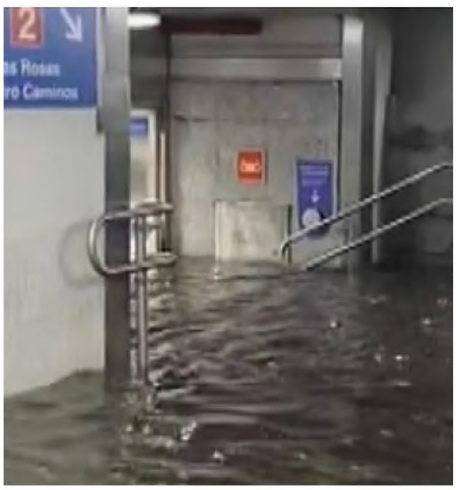
Очевидным и самым простым проектным способом защиты проектируемых станции от затоплений представляется повышение отметок земли у входов в павильоны метро. Однако это не всегда возможно по разным причинам. В качестве альтернатив для разрешения проблемы могут быть приняты различные архитектурные и инженерные решения или их комбинация. Например, при технической осуществимости возможна организация подземной ёмкости для временной аккумуляции дождевого стока с последующей принудительной откачкой, увеличение пропускной способности водосточной системы, возведение малых архитектурных форм, играющих роль дамб обвалования и иных препятствий для поступления поверхностных вод к вестибюлям станций и другим сооружениям метрополитена. Все эти предпроектные предложения можно проверить на действующей компьютерной модели, описывающей каждую отдельную станцию с её уникальными характеристиками, особенностями водосборного бассейна и предложенными вариантами борьбы с дождевыми паводками.

Как уже отмечалось выше, в рамках серии проектов были изучены несколько проектируемых станций метрополитена, расположенных на различных линиях Московского метрополитена. Работы проводились с использованием компьютерного моделирования для условий, связанных с очень редкими дождями, частота выпадения которых составляет один раз в 300 лет согласно требованиям СП 120.13330.2012 «Метрополитены». Для анализа такого расчётного сценария разрабатывались двухуровневые модели (наземная и подземная части), включающие метеорологические, гидрологические и гидравлические модели, с помощью которых описывались процессы выпадения дождевых осадков на поверхность водосборного бассейна, формирования поверхностного стока, течения воды по поверхности улиц, а также поступления и течения воды в городской сети водоотведения.

Общий подход к моделированию

Задача об определении основных расчётных гидравлических характеристик (карт затоплений, расходов, уровней, скоростей) в водотоке или поверхности городской территории сводится к трансформации известного временного графика выпадения осадков во временной график искомых характеристик (уровни, глубины, расходы, скорости) на рассматриваемой территории с учётом конкретных особенностей как водосборной территории и имеющихся на ней путей концентрации воды, так и имеющейся системы водоотведения.

При заданном графике выпадения дождевых осадков все стадии трансформации осадков могут быть последовательно рассчитаны



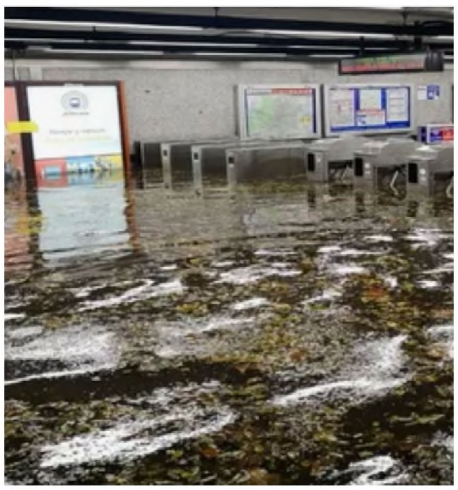


Рис. 1. Затопленный лестничный сход и вестибюль станции Мадридского метро (источник фото: news.sky.com, youtube.com)



Рис. 2. Затопленный вагон метро одной из станций китайского метро (источник фото: @TruthAbtChina и @thepapercn)



Рис. 3. Затопленные автобус и автомобили в Северном административном округе Москвы (источник фото: по данным РИА НОВОСТИ и ren.tv)



Рис. 4. Затопление станции метро «Багратионовская» 13 июня 2024 г. (источник фото: msk1.ru)



Рис. 5. Затопление станции метро «Ясенево» 13 июня 2024 г. (источник фото: fedpress.ru)

Процесс моделирования представляет собой три основных этапа (см. блок-схему на рис. 6). Ключевая стадия – это сбор исходной информации о проектируемом сооружении и формирование расчётных метеорологических сценариев выпадения дождей. На следующем этапе производится параметризация модели, включающая описание особенностей рельефа, инфраструктуры водосбора, наличие водостока и прочее. На третьей ступени выполняются непосредственно модельные расчёты и анализ полученных результатов. В случае, если карты затоплений показывают неудовлетворительные для проектировщиков результаты (например, слишком большая глубина воды у входа в метро или происходит незапланированное затопление территории электродепо и т. д.), то после проектных изменений у станции производится повторное моделирование. И так же далее итерационным путём выполняются модельные расчёты с проектными правками до получения приемлемых результатов.

Общий подход к моделированию всегда один и тот же, но каждая станция уникальна! Уникальна не только с точки зрения тоннельных работ и архитектурных решений, но и с точки зрения потенциальных затоплений и способов защиты станции от негативных последствий дождевых паводков.

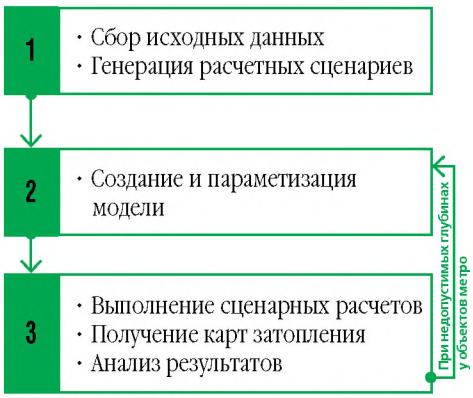


Рис. 6. Основные этапы моделирования

при помощи современных компьютерных моделей, решающих физически обоснованные уравнения течения воды. Все эти модели в настоящее время существуют и вполне доступны для практического использования, однако они требуют большого числа конкретных данных.

Для создания модели течения дождевых вод используются все доступные проектные материалы и проведенные инженерные изыскания. Обычный перечень данных представляет собой следующее: топоплан, ситуационный план, инженерно-геодезические изыскания на пространство близ проектируемой станции и на территорию водосборного бассейна в целом. Важным является проектное расположение наземных сооружений (павильонов, венткиосков и прочее), а также сведения о перспективной застройке кварталов (если известно о реновации или новом строительстве в районе), вертикальная планировка, транспортные схемы, улично-дорожная сеть на территорию у наземных сооружений. Обычно также используются данные о перспективном благоустройстве и существующей или проектируемой дождевой канализации.

Такая детальность и обширность исходных данных для модели имеет большое и, возможно, первостепенное значение, ведь чем подробнее данные об объекте, тем качественнее результаты!

На формирование и отвод стока влияют:

- во-первых, выпадающие дождевые осадки. Несмотря на то, что рассматриваемая повторяемость дождя составляет один раз в 300 лет, слой выпавших осадков, продолжительность, интенсивность и форма плювиограммы дождя могут быть разными. При прохождении дождевых «событий» изменение во времени интенсивности дождя (форма плювиограммы) может оказаться достаточно существенной. Поэтому чтобы учесть все возможные варианты дождевых событий была разработана так называемая матрица дождей с различными характеристиками, в том числе с разной продолжительностью дождя, начиная от короткого двадцатиминутного

дождя (ливневое событие) до затяжного (обложной дождь), длящегося без перерывов почти сутки;

- во-вторых – структура водосборного бассейна в целом, включая рельеф местности на территории водосбора, его инфраструктуру для учёта обтекания водой различных объектов, домов, наличие улично-дорожной сети с возможными разуклонками проезжей части, неодинаковый коэффициент стока и разную шероховатость городских поверхностей (будь то крыши, асфальтовые покрытия разного возраста, тротуарная плитка, озеленённые территории и т. д.). Также важно учитывать наличие водосточной сети, неоднородные инфильтрационные процессы и, конечно, пути концентрации стока. Пути концентрации стока – это когда автомобильные и пешеходные дороги превращаются в бушующие потоки.

Стоит отметить, что дождевая канализация не проектируется (и не должна) для отвода стоков от таких редких дождей ввиду полной нерентабельности. Обычно водостоки проектируются на сбор и транспортировку воды от дождей, выпадающих с повторяемостью один раз в 1–5 лет, в редких особых случаях от дождей повторяемостью 10–20 лет [2]. Поэтому система водоотведения несёт больше вспомогательную функцию и позволяет быстрее опорожнить затопленные площади, но не может обеспечить незатопление территории при дождях периодом однократного превышения один раз в 300 лет;

- в-третьих – условия непосредственно у станции метро. К примеру, зелёные насаждения и газоны за счёт инфильтрационных возможностей снижают потенциальные затопления, а асфальтовые покрытия и иные непроницаемые поверхности – наоборот. Поэтому важно и нужно учитывать планируемое благоустройство у проектируемых объектов. Не менее важна и вертикальная планировка;
- в-четвёртых, на генерацию и течение поверхностного стока влияют и внешние параметры, такие как характеристики, физическая обоснованность и точность моделирующей системы и особая детализация расчётной модельной сетки в местах интереса. Все описанные четыре фактора представлены на условной схеме (рис. 7).

Результаты моделирования

В результате моделирования получены детальные карты глубин и площадей затоплений у объектов станционных комплексов, которые в явном виде помогли проектировщикам принять верные и обоснованные решения по нескольким станциям.

Для отдельных станций проектной организацией АО «Мосинжпроект» для обеспечения незатопления станционного комплекса принимались решения по изменению вертикальной планировки близ входных павильонов, в других случаях принимались иные архитектурные или технические решения для избежания попаданий дождевых вод во входы в метро и в венткиоски.

Как упоминалось выше, не всегда применимо просто повышение вертикальных отметок поверхности земли у входов на станцию из-за, например, невозможности или трудности вписать новые высотные отметки в уже сложившуюся застроенную территорию и в окружающие дорожно-транспортные условия. В каких-то случаях можно повысить отметку крыльца, когда-то неизбежно применение гермозатворов, а в каких-то ситуациях нужна комбинация мероприятий.

Также ввиду того, что дожди при одной и той же повторяемости (один раз в 300 лет) могут быть различные по продолжительности и количеству выпавших осадков, то модельным расчётам подвергаются различные дождевые события (от коротких ливневых до продолжительных обложных). И как результат, может получиться, что какие-то станции подвержены затоплениям при коротких сильно интенсивных дождях (1), какие-то объекты при затяжных слабоинтенсивных событиях (2), а в отдельных случаях значительных затоплений может не наблюдаться ни при каких осадках повторяемостью один раз в 300 лет (3). Ниже рассмотрены три этих варианта.

Случай № 1. Станция на Рублёво-Архангельской линии Московского метрополитена

Часть наземных сооружений у станции метро располагается в местах понижений рельефа и потенциально затапливаемых территориях. Рельеф на водосборе сложен таким образом, что в основном пониженные отметки поверхности земли сосредоточены на двух перпендикулярных улицах в непо-

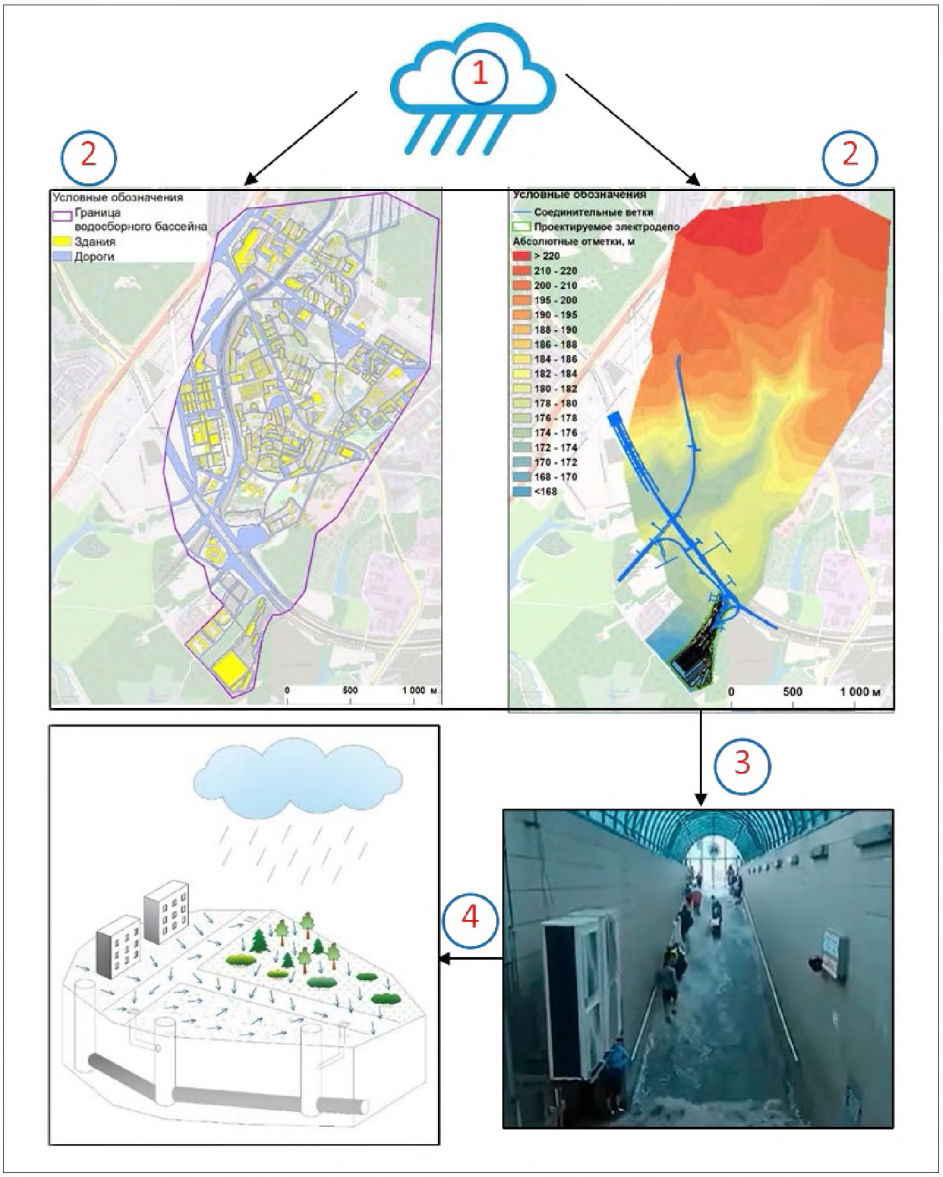


Рис. 7. Принцип моделирования затоплений у наземных сооружений метро (источник фото: profile.ru)



Рис. 8. Сосредоточение потоков воды по направлению к наземным объектам станции метро (цветом показан рельеф, стрелками – пути концентрации воды, а малиновые прямоугольные фигуры – проектируемые наземные объекты метро)

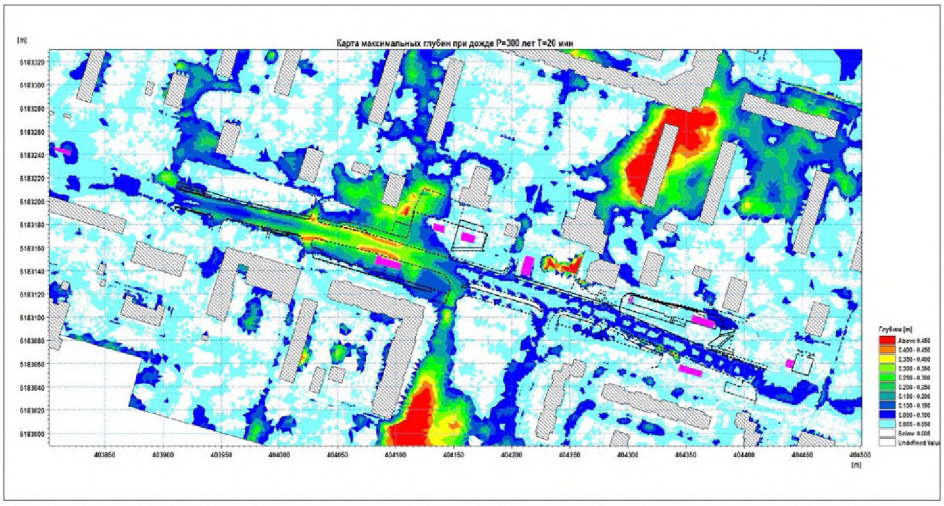


Рис. 9. Карта глубин воды (цветом показана глубина воды, малиновые прямоугольные фигуры – проектируемые наземные объекты метро)

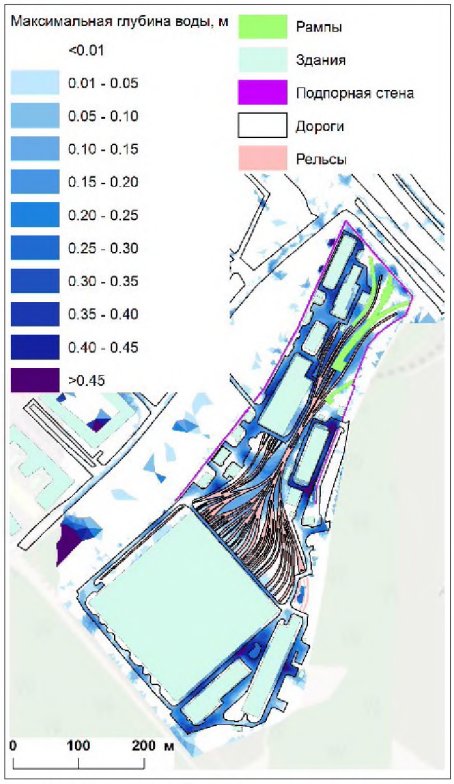


Рис. 10. Карта глубин воды, электродепо

средственной близости от наземных сооружений станции (рис. 8). Соответственно, основные потоки поверхностных вод будут тяготеть именно к этим низким местам водосбора, что продемонстрированно на карте с генеральными направлениями течений дождевых вод. Цветом показаны абсолютные отметки дневной поверхности водосбора, а синими векторами – водные потоки от одного из расчётных дождей. Для удобства генеральные линии тока представлены красными стрелками.

Из полученных карт глубин можно видеть, что вблизи проектируемого станционного комплекса существует несколько ярко выраженных локальных областей затопления.

Первая итерация моделирования показала, что у некоторых входов в метро сформировавшиеся глубины воды составляют около полуметра, что привело бы к неминуемому затоплению станции, а, следовательно, совершенно необходимо разрабатывать проектные изменения для его недопущения. В ходе дальнейших проектных работ и благодаря последующим уточнённым планировочным решениям, модель продемонстрировала, что затопление отсутствует (на венткиосках предусмотрены двери с порогом не менее 200 мм, а на лестничных сходах выходов в город предусмотрена дополнительная ступенька и подняты входные площадки для исключения затопления).

Случай № 2. Электродепо

Ввиду плоского рельефа территории электродепо, наиболее опасными оказались длительные ливни, характеризуемые большим слоем выпавших осадков.

Моделирование показало, что на территории электродепо формируется несколько выраженных локальных областей затопления, в том числе возле отверстий рамп. При таких сценариях количество выпавшей влаги превышает предельную влагоёмкость почвы, а механизмов снижения глубин, кроме инфильтрации, при плоском рельефе нет.

Глубины воды в разных точках составили от 10 до 35 см. В целях исключения затопления была рекомендована установка защитно-герметического затвора.

Случай № 3. Станция на Троицкой линии Московского метрополитена

На участках вблизи станции метро значимых уровней затопления не наблюдается при всех рассмотренных продолжительностях дождя повторяемостью P = 300 лет. Незначительный слой дождевой воды присутствует близ всех объектов станции, но глубины там измеряются от миллиметров до нескольких сантиметров. Стоит обратить внимание, что глубины воды могут сильно отличаться по периметру каждого объекта в зависимости от расположения, протяженности и условий рельефа возле этого сооружения.

Глубины воды у вентиляционных киосков составляют от 3 мм до максимума ~12 см, глубины воды у эвакуационных лестниц: от 2 мм до 6 см, глубина воды у здания отдыха локомотивных бригад ~1 см, глубины воды у наземных павильонов ~3–4 см. Даже при таких незначительных уровнях затопления было рекомендовано предусмотреть крыльца с отметками порога выше отметок незатопления

О расчётных дождях

Выше уже отмечалось, что в настоящее время на существующих метеостанциях ещё (к счастью) не было зафиксировано дождя повторяемостью один раз в 300 лет, поэтому взять за образец такой дождь и использовать его в дальнейших расчётах не представляется возможным. В связи с этим используются формулы действующих нормативов. Согласно СП 32.13330.2018 «Канализация. Наруж-

ные сети и сооружения» [2] имеется строгая зависимость между средней интенсивностью дождя (q), продолжительностью (T) и его повторяемостью (P). При этом A – региональный параметр, включающий в себя ряд локальных коэффициентов. Коэффициенты принимаются по [2] и зависят от города/региона:

$$q = A / T^n,$$

$$A = q_{20} \times 20^n \times (1 + \frac{lgP}{lgm_r})^y$$

При расчёте расходов дождевых вод основным климатическим показателем является средняя интенсивность дождя 20-минутной продолжительности (q_{20}). Двадцать минут в качестве интервала, для которого рассчитывается интенсивность осадков, выбраны, потому что за этот период выпавшие осадки должны стечь в систему канализации (исходя из параметров канализационных сетей, принятых в нашей стране [2]).

Эта формула давно выведена и существует в нормативах по крайней мере с 60-х годов прошлого столетия [3]. Несмотря на то, что региональные коэффициенты, применяемые в этой формуле, корректируются с выходом обновлений СП, правки не всегда успевают отзываться на видимые изменения климата.

Об изменении климата и влиянии на дожди

В настоящих реалиях неотъемлемой частью работ по проектированию сооружений с длительным периодом эксплуатации (к которым относятся и сооружения метро), а также работ по актуализации соответствующих нормативов (например, СП 32.13330.2018 «Канализация» и СП 131.133330.2020 «Строительная климатология») является учёт изменяющейся окружающей среды.

Климатолог А. В. Чернокульский в своём докладе сообщал об исследовании изменения осадков за последние несколько десятилетий на территории России [4]. На рис. 12 показаны графики изменения общей суммы осадков и сумм осадков ливневых и обложных дождей для трёх регионов РФ. Как видно, общая сумма осадков изменилась относительно не так сильно, но стало меньше обложных и больше ливневых, это произошло практически во всех регионах России, и рост по статистике значимый. Так же ещё важен момент – как именно выпадают осадки: в виде относительно коротких ливней, или слабых, но продолжительных дождей. С точки зрения формирования дождевого стока и последующих затоплений территории городов, важным является интенсивность дождей (что характерно именно для ливневых осадков): чем интенсивнее дождь – тем выше вероятность

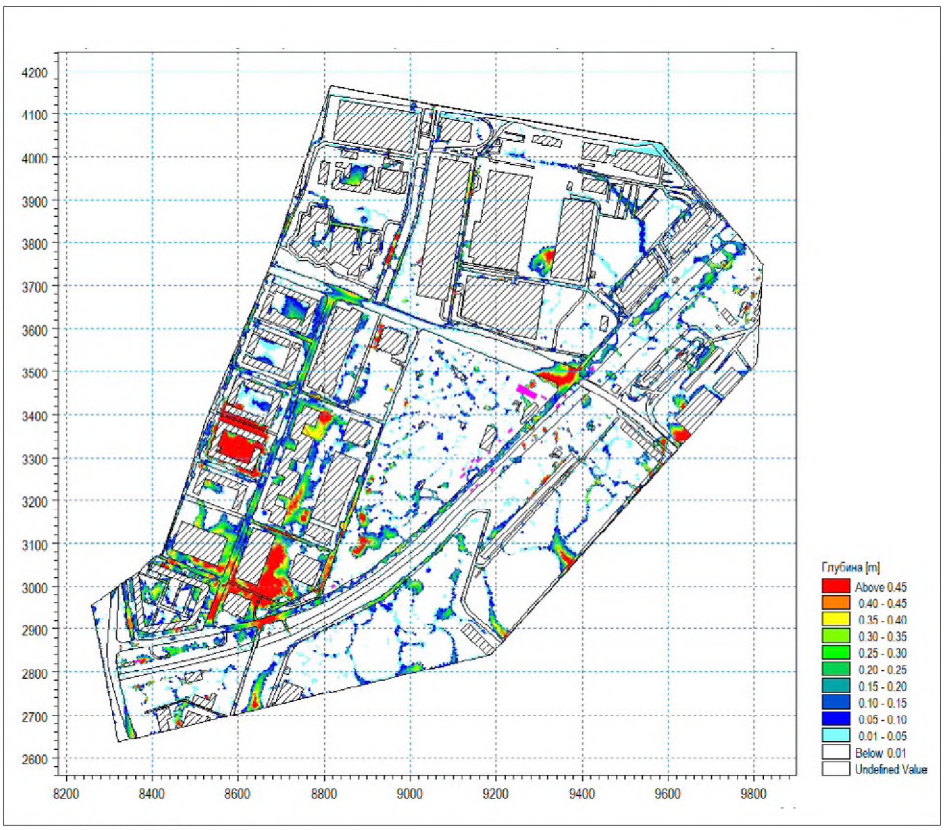


Рис. 11. Карта глубин воды

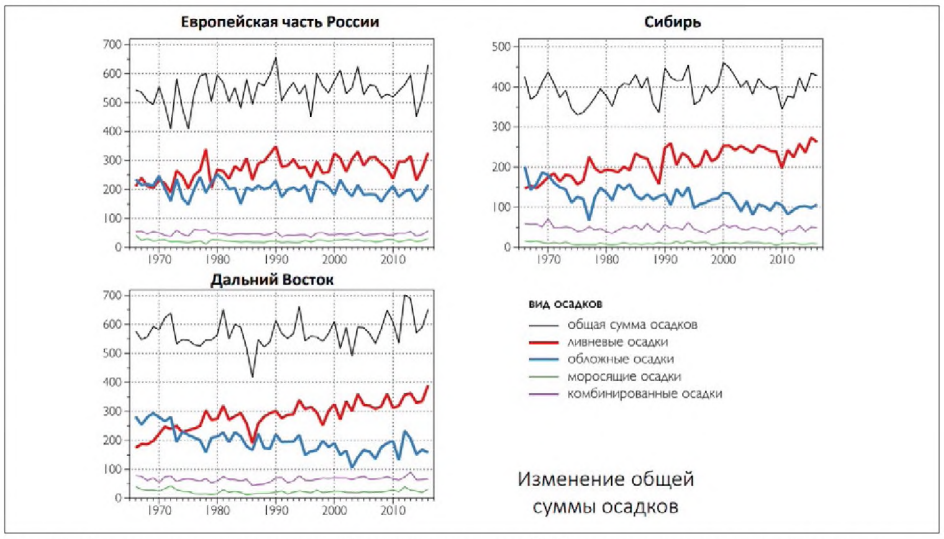


Рис. 12. Изменение ливневых и обложных осадков [4] (на оси ординат представлена годовая сумма осадков)

затопления территорий с высокой долей непроницаемых поверхностей (жилые и промышленные кварталы с высокой степенью застройки и асфальтированных площадей).

Изменения климата ведут в целом к изменению фоновых условий и росту риска возникновения тех или иных погодно-климатических аномалий. В XXI в. ожидается рост риска возникновения опасных погодных явлений, включая ливни и наводнения.

На те же климатические изменения указывает ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (Росгидромет): к середине XXI в. ожидается заметный рост интенсивности осадков, что должно быть учтено в нормативных документах и при проектировании сооружений, рассчитанных на длительное использование [5, 6, 7].

Актуализация строительных норм с учётом изменения климата

Согласно исследованиям специалистов Института физики атмосферы РАН, в будущем ожидается увеличение опасных конвективных метеоявлений, таких как ураганы, смерчи, сильные дожди и связанные с ними наводнения, в регионах Кавказа, Причерноморья и Поволжья. В центральной части европейской территории России, Поволжье и Предуралье количество ливневых дождей увеличится почти вдвое. Явные изменения в распределении осадков наблюдаются на юге Сибири, а аналогичные тенденции,

усиливаемые муссонами, фиксируются и на Дальнем Востоке [5, 6, 7].

Климат подвержен естественным колебаниям, поэтому климатологи используют 30-летние данные о метеоэлементах, которые обновляются каждые три десятилетия. В настоящее время за норму принимаются усредненные параметры, рассчитанные за период 1961–1990 гг.

Тем не менее, растущая концентрация парниковых газов вносит изменения в естественные климатические колебания, что приводит к быстрому устареванию норм. Полагание на эти данные при принятии ключевых решений в разных областях народного хозяйства, в том числе транспорта, строительства и других сферах экономики может привести к искаженной картине. В результате, лица, принимающие решения в климатически чувствительных секторах и отраслях, могут основываться на устаревшей информации. В этой связи Всемирная метеорологическая организация приняла новый технический регламент. Так, для оценки оперативных изменений климата нормы будут пересчитываться каждые десять лет – новым базовым климатическим периодом станет ряд 1981–2010 гг. А для поддержания долгосрочной оценки изменения климата будет сохранен старый исторический ряд 1961–1990 гг. [5, 6, 7].

Однако несмотря на вышесказанное, на сегодняшний день имеется отставание нормативной базы проектирования от климатических изменений, особенно при учёте сверхинтенсивных ливней. В любом случае климат изменился, нужны новые нормативные документы или корректировка существующих, СП, ГОСТов и т. д., но этот процесс требует времени, а решения, в том числе и проектные, и конструкторские нужно принимать сейчас [5, 6, 7]. На необходимость такого шага прямо указывается ведущими специалистами области гидрометеорологии и геофизики [7].

О необходимости актуализации нормативов (по крайней мере СП по климатологии [8]) также говорит проведённое авторами небольшое исследование [9]. В нем проводилось сравнение климатических характеристик по городу Чите на основании современных данных наблюдений (за период 2014–2023 гг.) и данных из СП 131.133330.2020 [8]. Данные наблюдений получены из открытых источников [10, 11, 12]. Сравнение показало, что имеются значительные различия по разным климатическим параметрам, включая среднемесячные температуры воздуха, розы ветров и атмосферные осадки. В целом можно сделать вывод, что данные свода правил несколько устарели, не отвечают действительности и требуют актуализации.

Заключение

Эта статья не посвящена напрямую производству транспортных тоннелей, но посвящена смежной и важной области применения – гидрометеорологии для целей безопасного проектирования, строительства и эксплуатации новых станций метрополитена.

При современном развитии вычислительной техники, передовых и постоянно прогрессирующих моделирующих системах гидродинамическое моделирование затоплений для отдельно взятых станций даже в сложных гидрометеорологических условиях или в трудных условиях рельефа и ландшафта приходит на помощь проектировщикам метрополитена. В заключение можно отметить следующее:

- математическое моделирование позволяет определять условия течения дождевых вод даже для редких дождевых событий;
- комплексная двумерная модель водосбора и модель водосточной сети позволяет учесть полный спектр факторов формирования стока и протекания поверхностных дождевых вод по территории города и получить искомые карты затоплений;
- отдельная станция – отдельная модель ввиду особенности каждой станции;
- возможно и желательно повышение точности модели за счёт получения сведений об отдаленных от станций территориях водосбора;
- продемонстрированные примеры подчеркивают необходимость применения многопараметрических моделирующих систем для целей современного проектирования метро;
- необходимо внесение корректив в нормативные документы с целью адаптации к изменениям климата в сфере проектирования систем водоотведения, путей сообщения, строительства и т. д.

Авторы высказывают признательность сотрудникам АО «Мосинжпроект» за возможность использования при моделировании проектных материалов, а также экспертам Тоннельной ассоциации России за научную поддержку на высоком профессиональном уровне при проведении научно-технического сопровождения работ по гидродинамическому моделированию.

Ключевые слова

Метрополитен, затопление, моделирование, дожди, водоотведение.

Subway, surface water flooding, model analysis, computer simulation, rainfall.

Список литературы

1. [Электронный] ресурс https://ria.ru/20240614/sinoptik-1952766520.html
2. СП 32.13330.2018 (Канализация. Наружные сети и сооружения).
3. ВСН 63-76, Министерство транспортного строительства, Минтрансстрой СССР.
4. А. В. Чернокульский. Опасные атмосферные конвективные явления в России в условиях изменений климата. Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН. Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, ИКИ РАН, 11–15 ноября 2024 г. [Электронный ресурс] http://conf.rse.geosmis.ru/files/books/2024/10712.htm.
5. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010–2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. – Москва, Росгидромет, 2005. – 29 с.
6. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 г., Москва, 2017.
7. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Климатический центр Росгидромета. Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург, 2020 г.
8. СП 131.13330.2020 Строительная климатология: утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. N 859/пр и введен в действие с 25 июня 2021 г.
9. Казанов Л. Е. Сибирский государственный университет путей сообщений. Кафедра геотехники, тоннелей и метрополитенов. Организация, планирование и производство работ по сооружению станции метрополитена. КП. ОПУС.МТ-19-51.2023.
10. Погода в Чите с 2014 г.: [Электронный ресурс]. URL: https://weatherarchive.ru/Pogoda/Chita (Дата обращения: 31.12.2023 г.).
11. Роза ветров Читы: [Электронный ресурс]. URL: https://ru.meteocast.in/windrose/ru/chita/ (Дата обращения: 31.12.2023 г.).
12. Чита – погода по месяцам: [Электронный ресурс]. URL: https://meteodb.com/ru/russia/chita (Дата обращения: 31.10.2023 г.).

Для связи с авторами

Гоконова Елена Михайловна
gokonova@echyden.ru
info@echyden.ru
Казанов Лев Евгеньевич
4563500@mail.ru

АРТЕМОВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД «ВЕНТПРОМ» – НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

П. В. Вяткин, В. И. Кутаев, Артемовский машиностроительный завод «ВЕНТПРОМ»

Проектирование и строительство метрополитенов предусматривает решение одной из первоочередных задач – организацию тоннельной системы вентиляции для проветривания станций и тоннелей. Это связано с перемещением значительных масс воздуха для удаления выделяемых вредностей и подачей свежего воздуха с целью поддержания в подземных объектах микроклимата для комфортного пребывания в них большого пассажиропотока. Все отечественные метрополитены имеют системы вентиляции, предусматривающие искусственное побуждение перемещения воздушных масс с помощью осевых вентиляторов с подачей воздуха до 300 тыс. м³/ч и развиваемым давлением до 800 Па.



Первые линии Московского метрополитена были оборудованы осевыми двухступенчатыми вентиляторами типа ЦАГИ с диаметром рабочего колеса 1900 мм и скоростью вращения 452 об/мин. На второй и третьей очередях строительства применялись одноступенчатые осевые вентиляторы с диаметром рабочего колеса 2500 мм, развивающими статическое давление до 30 кГс/м² при скорости вращения рабочего колеса 720 об/мин. Привод этих вентиляторов осуществлялся через клиноременную передачу или промежуточный редуктор. Вентиляторы ЦАГИ 20 четвертой очереди строительства с диаметром рабочего колеса 2000 мм имели одно рабочее колесо и прямой привод от электродвигателя через соединительную муфту. Начиная с пятой очереди строительства для проветривания тоннелей и станций начали применять двухступенчатые вентиляторы ЦАГИ 24.

Все эти вентиляторы, изготавливаемые на Московском заводе № 5 Главметрополитена МПС СССР по конструкторской документации института «Метрогипротранс», в принципе удовлетворяли условиям проветривания по производительности и развиваемому давлению, но имели и существенные недостатки, к которым в первую очередь относились их нереверсивное исполнение и низкий КПД. Следует отметить, что при разработке всех этих вентиляторов институтом «Метрогипротранс» использовались самые передовые в то время аэродинамические схемы, разработанные в ЦАГИ для шахтных вентиляторов. Эти аэродинамические схемы не полностью отвечали специфическим требованиям метрополитенов.

Поэтому в середине прошлого столетия институтом «ЦАГИ» по техническому заданию института «Метрогипротранс» была разработана аэродинамическая схема реверсивного вентилятора, а конструкторами Артемовского машиностроительного завода разработана конструкторская документация вентилятора ВОМД 24. Первые образцы этого вентилятора были изготовлены на Артемовском машиностроительном заводе и поставлены на Московский метрополитен в 1966 г. и до конца 80-х годов это был единственный вентилятор проветривания всех отечественных метрополитенов.

Конструкция вентилятора была защищена авторскими свидетельствами СССР, Чехословакии и Болгарии.

По состоянию на 2001 г. на метрополитенах бывшего СССР находилось в эксплуатации 286 вентиляторов типа ЦАГИ всех модификаций, 206 единиц из них на Московском метрополитене; вентиляторов ВОМД 24 и их модификаций соответственно 1200 и 374. За все время Артемовским машзаводом было выпущено около 1500 вентиляторов ВОМД 24 и их модификаций.

Все эти вентиляторы отработали не по одному нормативному сроку, устарели и морально, и физически и перед метрополитенами остро встал вопрос о возможности их дальнейшей эксплуатации. Поэтому 15 января 2003 г. по инициативе Ассоциации «Метро», Московского и Петербургского метрополитенов на Артемовском машиностроительном заводе состоялось техническое совещание на тему: «Капитальный ремонт вентиляционных установок, оснащенных вентиляторами ЦАГИ».

Согласно решению совещания, было проведено обследование вентиляторных установок на следующих вентшахтах:

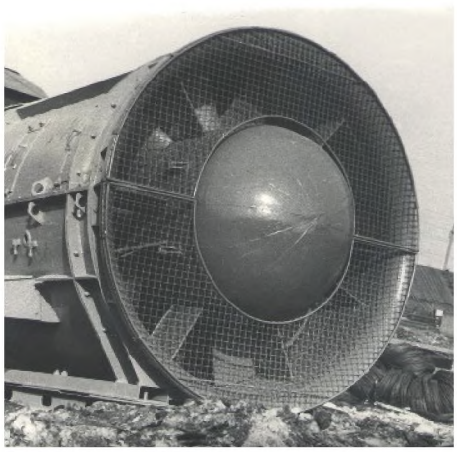
- ВШ № 164 станция «Комсомольская» (Сокольническая линия);
- ВШ № 343 станция «Смоленская» (Арбатско-Покровская линия);
- ВШ № 423 станция «Проспект мира» (Кольцевая линия);
- ВШ № 425 станция «Комсомольская» (Кольцевая линия);
- ВШ № 630 станция «Пролетарская» (Таганско-Краснопресненская линия);
- ВШ № 632 станция «Таганская» (Таганско-Краснопресненская линия).

Результаты обследования показали крайнюю изношенность корпусных несущих металлоконструкций и элементов роторов вентиляторов, поэтому вопрос о модернизации вентиляторов типа ЦАГИ отпал ввиду ее технической и экономической нецелесообразности. Было принято совместное решение о разработке нового типоразмерного ряда тоннельных вентиляторов серии ВОМ.

В начале сентября 2005 г. первые вентиляторы этой серии ВОМ 20 были изготовлены Артемовским машзаводом и предъявлены приемочной комиссии. Вентиляторы были



Вентилятор ЦАГИ 2,4



Вентилятор ВОМД 24



Вентилятор ВОМ 20

испытаны на заводском испытательном стенде и подтвердили технические характеристики, заложенные в техническом задании, разработанном Артемовским машзаводом и согласованном Московским метрополитеном.

В этом же году вентилятор был поставлен на эксплуатационные испытания на перегонную шахту между станциями «Водный стадион» и «Речной вокзал». В 2007 г. прошел испытания вентилятор ВОМ 16Р, в 2009 г. – ВОМ 24Р и в 2011 г. – ВОМ 18Р. В 2015 г. завершился капитальный ремонт всех вентиляционных шахт с вентиляторами типа ЦАГИ, которые были заменены вентиляторами типоразмерного ряда ВОМ. Новые вентиляторы кроме того, что имеют повышенные, по сравнению с замененными, технические характеристики, они ещё и обеспечили необходимые требования безопасности в метрополитене. Учитывая то, что при замене вентиляторов потребовалось только доработать фундамент, не изменяя основную часть вентиляционной шахты, удалось уйти от значительных капитальных затрат. Эти мероприятия дали значительную экономию метрополитену при проведении реконструкции.



Авторские свидетельства СССР, Чехословакии и Болгарии

Параллельно с разработкой вентиляторов серии ВОМ Московский метрополитен совместно с специалистами Артемовского машзавода решали вопрос дальнейшей эксплуатации вентиляторов ВОМД 24 и ВОМД 24А, так же отработавших по два-три нормативных срока. Таких вентиляторов на тот момент только на Московском метрополитене находилось в эксплуатации более 400 штук. Обследование группы этих вентиляторов показало, что основные корпусные и несущие элементы за время эксплуатации не претерпели каких-то существенных изменений и сохранили практически первоначальные прочностные свойства. В то же время отдельные механизмы и агрегаты требовали кардинальных изменений для восстановления их работоспособности. По предложению заводских специалистов было принято совместное решение о проведении модернизации вентиляторов типа ВОМД. Причем модернизацию предлагалось проводить на месте эксплуатации непосредственно в вентшахте, не снимая вентилятор с фундамента. Модернизация заключалась в том, что из проточной части удалялись ротор, направляющие аппараты и опорные элементы ротора. На заводе изготавливался новый модуль, включающий в себя рабочее колесо, насаженное на вал электродвигателя, ложемент для установки нового ротора и комплект элементов крепления для установки модуля в существующий корпус. Кроме конструкторской и эксплуатационной документации была разработана технологическая инструкция по демонтажу старых и монтажу новых элементов.

Данная технология была продемонстрирована специалистам всех отечественных метрополитенов, собравшихся на совещание на Артемовском машиностроительном заводе. 30 сентября 2009 г. на Артемовском машиностроительном заводе проведен в присутствии представителей всех метрополитенов СНГ первый этап приемочных испытаний модернизированного вентилятора ВОМД 24. Были организованы аэродинамические и аку-

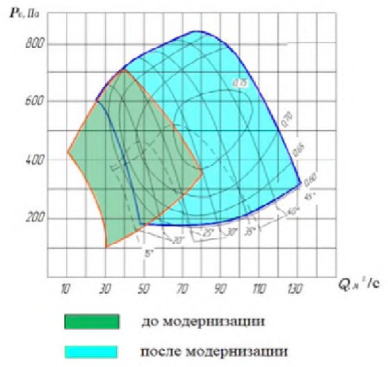


Вентилятор ВОМ 18Р





Модернизированный вентилятор ВОМД 24 на испытательном стенде



Аэродинамические характеристики вентилятора ВОМД 24 модернизированного



Системы автоматического управления вентиляторами метрополитенов



Вентилятор ВОМ 22 на заводском стенде

стические испытания на заводском стенде. Результаты испытаний показали увеличение производительности вентилятора по сравнению с существующим в1,5 раза, а развиваемое давление – в 1,3 раза.

Исключение из аэродинамической схемы направляющих и спрямляющих аппаратов значительно повысило надежность вентилятора и благоприятно повлияло на его шумовые характеристики. Звуковая мощность вентилятора составила 98 дВА, обеспечивая санитарные нормы для рабочих мест метрополитенов. Реверсирование вентилятора обеспечило его производительность до 80 % от прямой работы.

В комплекте с вентилятором была представлена система автоматизированного управления вентилятором, которая легко адаптировалась с общей системой управления метрополитеном.

Модернизация первых вентиляторов осуществлялась под авторским контролем заводских конструкторов. В дальнейшем эта работа проводилась силами метрополитенов.

Осуществление модернизации вентиляторов без замены оборудования значительно сократило процесс капитального ремонта вентиляционных шахт и позволило сэкономить до 75 % средств на восстановление работоспособности вентиляционных установок.

В результате модернизации метрополитен получил практически новые тоннельные вентиляторы с повышенными параметрами работы и эксплуатационной надежности, обеспечивающие возросшие требования безопасности, предъявляемые к системам тоннельной вентиляции и вентиляторам, как основным элементам этих систем. В 2023 г. Московский метрополитен закончил модернизацию всех находящихся в эксплуатации вентиляторов ВОМД 24 и ВОМД 24А. Капитальный ремонт вентшахт с вентиляторами типа ЦАГИ и модернизация вентиляторов ВОМД позволил Московскому метрополитену значительно улучшить на своих объектах микроклимат для комфортного пребывания пассажиров за счет увеличения более чем на 30 % величины воздухообмена в местах пребывания. Эти мероприятия позволили решить задачи обеспечения безопасности в соответствии с возросшими требованиями санитарных, противоаварийных и антивандальных норм. Все вентиляторы выполнены реверсивными с подачей воздуха в режиме реверса 80–100 % от подачи в прямом режиме и рассчитаны на работу в аварийном режиме при температуре от 250 до 400 °С в течение двух часов.

Артемовский машиностроительный завод и сегодня обеспечивает метрополитены СНГ, в том числе и Московский метрополитен, при строительстве новых линий тоннельными вентиляторами в нужном количестве и качестве под требуемые технические и эксплуатационные параметры потребителя. Только за последние два года на Московский метрополитен было поставлено более 50 вентиляторов типа ВОМ, которые установлены на Люблинско-Дмитровской, Троицкой, Кожуховской и других линиях Московского метрополитена.

В 2023 г. на заводе состоялась презентация нового тоннельного вентилятора ВОМ 22, который закрыл очередную нишу в типоразмерном ряду вентиляторов серии ВОМ. В планах разработка и поставка вентиляторов ВОМ 14.

Запланировано освоение производства клапанов воздушных противопожарных. Первая партия уже поставлена на Московский метрополитен.

В последнее время появляется заинтересованность отечественных метрополитенов в импульсных вентиляторах, предназначенных для работы в системах продольной вентиляции тоннелей, в том числе метрополитенов в качестве вентиляционного оборудования для вспомогательных функций.

В 2024 г. партия таких вентиляторов с диаметром рабочего колеса 1000 мм поставлена на Троицкую линию Московского метрополитена. В номенклатуре завода имеются импульсные вентиляторы реверсивного исполнения с диаметром рабочего колеса до 1600 мм. Они имеют частотно-регулируемый привод и предел огнестойкости 400 °С в течение двух часов.



Импульсный вентилятор VSB на заводском стенде

Тесное сотрудничество на протяжении 60 лет заводских конструкторов и специалистов электромеханических служб метрополитенов научило нас понимать взаимные возможности, проблемы, стремления и позволяет в короткие сроки и качественно решать общие задачи.

Техническая политика АО «АМЗ «ВЕНТПРОМ» также направлена на удовлетворение запросов метрополитенов по повышению надежности вентиляторов и повышению качества выпускаемой продукции. На заводе полностью заменен станочный парк, имеется испытательное оборудование для подтверждения технических характеристик. Внедряются новые технологии, автоматизируются процессы сварки и многое другое.

АО «Артемовский машиностроительный завод «ВЕНТПРОМ» нацелен на дальнейшее продуктивное сотрудничество с Московским метрополитеном.

Поздравляем коллектив Московского метрополитена с 90-летним юбилеем и желаем дальнейшего развития в организации транспортного комплекса города Москвы, новых инновационных идей, стабильности и благополучия!

Для связи с авторами

Кутаев Виталий Иванович

kutaev@ventprom.com

РЕШЕНИЯ ПО ПРОДОЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ТОННЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

LONGITUDINAL TUNNEL VENTILATION SOLUTIONS BASED ON NUMERICAL FLUID DYNAMICS



Д. С. Конюхов, д. т. н., Мосинжпроект, г. Москва
D. S. Konyukhov, Doctor of Technical Sciences, Mosinzhproekt

По материалам компании Zitron показаны инновационные решения с использованием инструментов вычислительной гидродинамики (CFD) применительно к определению оптимального расстояния между струйными вентиляторами в тоннелях с большой площадью поперечного сечения; исследуется влияние размещения информационных панелей вблизи струйных вентиляторов; изучено наиболее подходящее продольное распределение блоков вентиляторов по длине для минимизации расхода электрических кабелей при сохранении эффективной вентиляции. Исследована возможность и целесообразность установки струйных вентиляторов в порталах тоннелей.

Based on Zitron, innovative solutions using Computational Fluid Dynamics (CFD) tools are demonstrated to determine the optimum spacing of jet fans in tunnels with large cross-sectional areas; the impact of placing information panels close to jet fans is investigated; and the most appropriate longitudinal length distribution of fan units is studied to minimise electrical cable consumption while maintaining efficient ventilation. The possibility and feasibility of installing jet fans in tunnel gantries is investigated.

Рассмотрен тоннель большого сечения 88,6 м² (рис. 1), в котором установлены попарно реверсивные струйные вентиляторы диаметром 1200 мм и мощностью 45 кВт.

Для определения расхода воздуха или средней скорости воздушного потока исследованы четыре схемы с разными расстояниями между вентиляторами (1,8 м, 2,4 м, 3 м и 5 м). На рис. 2 и 3 показаны результаты (представлены вид в плане и профили поперечного сечения вдоль тоннеля в различных вариантах моделирования). Цветовая шкала представляет скорости от 0 до 10 м/с.

Графические результаты показывают, что большее расстояние между вентиляторами приводит к более благоприятной средней скорости в тоннеле. Следовательно, для рассматриваемого тоннеля со значительной шириной поперечного сечения оптимальная конфигурация предполагает размещение вентиляторов на расстоянии 5 м один от другого. Такая конфигурация приводит к увеличению скорости на 5,7 % по сравнению с расстоянием между вентиляторами 1,8 м, при этом остается достаточное расстояние для размещения системы электроосвещения, как показано на рис. 4, что соответствует практике, применяемой в других тоннелях.

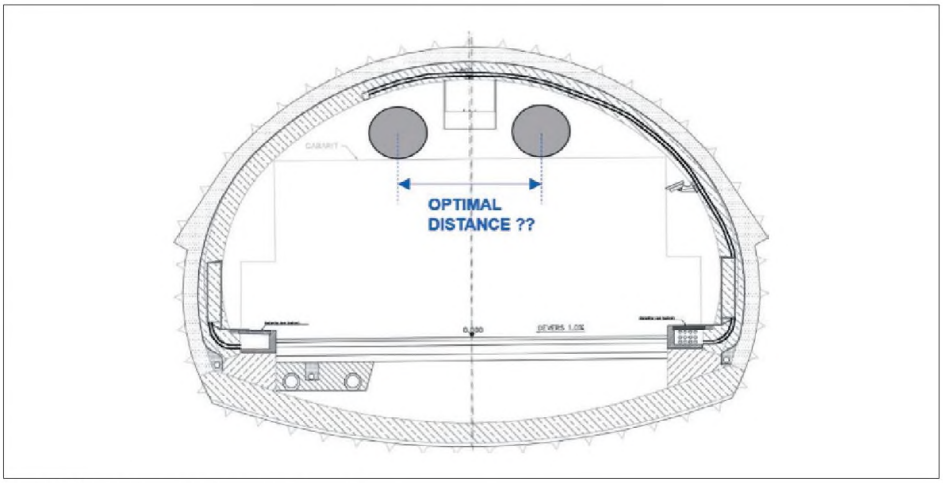


Рис. 1. Поперечное сечение тоннеля

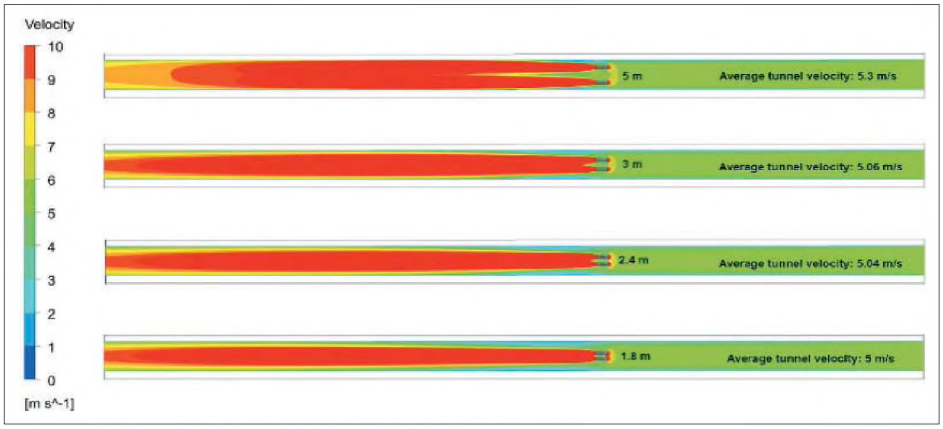


Рис. 2. Диаграммы скоростей в различных моделях

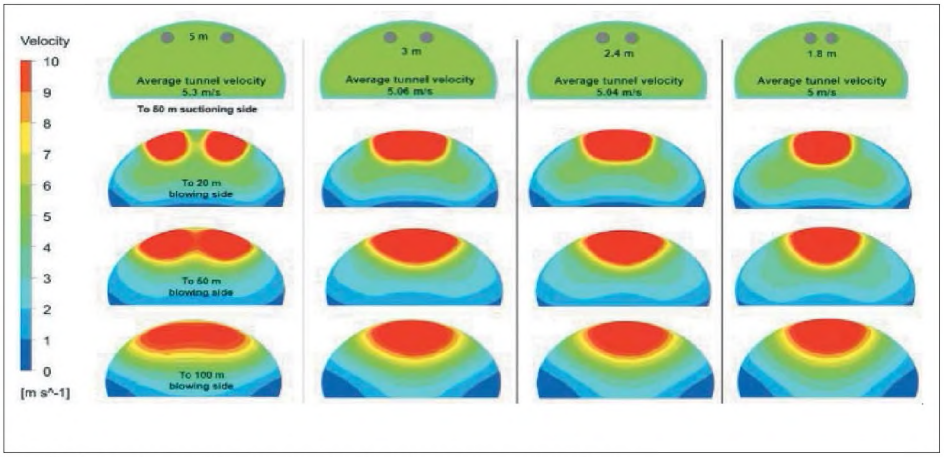


Рис. 3. Диаграммы скорости в поперечном сечении тоннеля



Рис. 4. Тоннели со значительным расстоянием между струйными вентиляторами

В случае тоннеля с информационными панелями исследовано изменение скорости воздушного потока с целью определить, на каком оптимальном расстоянии следует размещать такие панели (диапазон расстояний от 5 до 100 м).

Моделирование методами вычислительной гидродинамики показало, что в отсутствие информационной панели средняя скорость воздушного потока в тоннеле составляет 4,67 м/с. Однако, когда информационная панель размещается на разном расстоянии от вентиляторов, происходит взаимодействие между струей вентилятора и информационной панелью. При расположении панели на расстоянии 5 м средняя скорость снижается на 36 %. И наоборот, если панель расположена на расстоянии 100 м, средняя скорость снижается на 4 % по сравнению со средней скоростью, создаваемой без каких-либо препятствий.

В сценариях, где информационная панель расположена в зоне всасывания струйных вентиляторов на разных расстояниях, снижение средней скорости воздушного потока в тоннеле из-за препятствия в виде информационной панели гораздо меньше. Фактически это снижение всего на 2 % меньше, чем скорость без панели, когда панель расположена на расстоянии 5 м.

На основе результатов, полученных в ходе моделирования, предлагаются следующие решения.

В тоннелях с односторонним движением рекомендуется размещать информационные панели по возможности со стороны всасывания струйных вентиляторов. Такое размещение минимизирует их влияние на среднюю скорость воздушного потока в тоннеле.

В тоннелях с двусторонним движением следует искать компромиссное решение. Информационные панели следует размещать как можно дальше от струйных вентиляторов, чтобы минимизировать их влияние на воздушный поток в тоннеле.

Длина рассматриваемого в исследовании тоннеля 505 м, площадь поперечного сечения 166 м^2, а уклон 2 %. Это городской тоннель с односторонним движением, характеризуемым высокой плотностью. Исследование в указанных условиях показало, что для выполнения требований по вентиляции в нормальном и аварийном режимах необходимо шесть струйных вентиляторов с внутренним диаметром 1000 мм и мощностью 30 кВт. Чтобы определить оптимальное распределение вентиляторов в отношении среднего потока воздуха, создаваемого в тоннеле, и необходимой длины кабеля было также проведено моделирование мето-

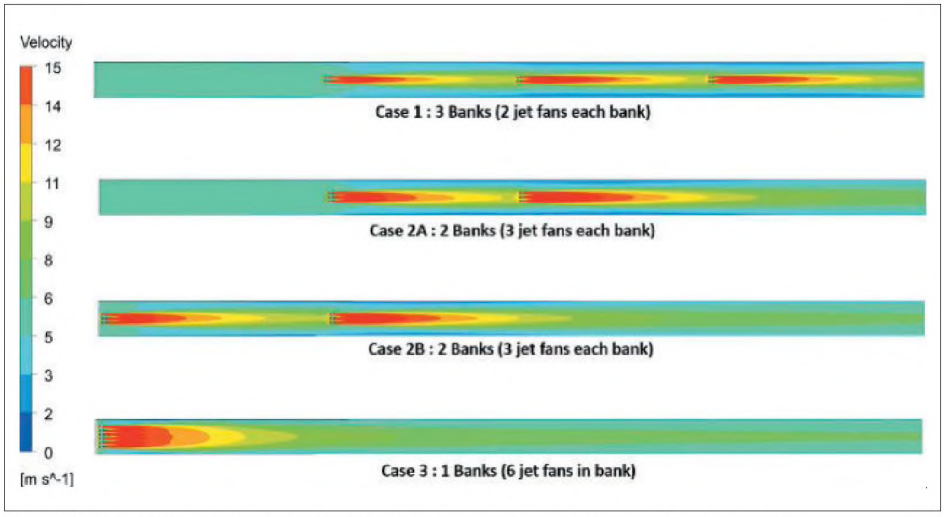


Рис. 5. Диаграммы скорости воздуха на уровне вентиляторов для различных их расстановок

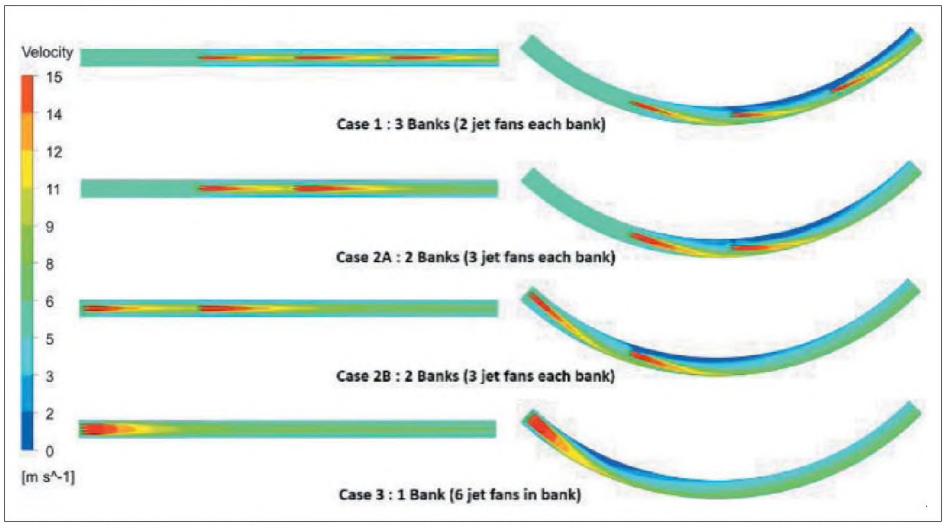


Рис. 6. Сравнение диаграмм скорости в прямолинейном и криволинейном тоннелях

дами вычислительной гидродинамики. Важно отметить, что электротехническое помещение находилось у входа в тоннель.

Были рассмотрены четыре различных варианта расстановки вентиляторов в тоннеле (рис. 5). Цветовая шкала обозначает скорость в диапазоне от 0 до 15 м/с, красным цветом отмечены скорости не менее 14 м/с.

В примере 1 шесть необходимых струйных вентиляторов в этом тоннеле были разделены на три группы, с расстоянием 12 гидравлических диаметров (140 м) от входа до первой группы и 10 гидравлических диаметров (117 м) между группами, в соответствии с рекомендациями CETU. При таких условиях вентиляторы перемещают в тоннеле 850 м²/с воздуха. Учитывая, что электротехническое помещение расположено у входа в тоннель, минимальное расстояние между кабелями, необходимое при такой расстановке, составит 1662 м; при стоимости 100 евро за метр (материалы + работа) это приведет к окончательным затратам на электроснабжение на уровне 166200 евро.

В примере 2А распределение было изменено и состояло из двух блоков по три вентилятора в каждом. Первый блок расположен на расстоянии 12 гидравлических диаметров (140 м) от входа, а второй – на расстоянии 10 гидравлических диаметров (117 м) от первого. Такая конфигурация позволила получить воздушный поток 892 м²/с, что на 4,7 % лучше, чем в предыдущем случае. Кроме того, необходимая длина кабеля сократилась до 1311 м, что привело к затратам в 131100 евро.

В примере 2В по-прежнему две группы по три вентилятора в каждой, но расположение первой группы было изменено на ближнее к входу в тоннель, а следующая группа расположена на расстоянии 12 гидравлических диаметров (140 м) от входа. Такое расположение гарантирует воздушный поток 905 м²/с (на 1,4 % больше, чем в примере 2А) внутри тоннеля, при этом длина кабеля сократилась до 540 м, а стоимость электроснабжения составила 54000 евро.

Наконец, в примере 3 все шесть вентиляторов были размещены у входа в тоннель. Эта конфигурация обеспечила производительность 944 м²/с (на 4,1 % больше, чем в случае 2В), и потребовала около 62 м кабеля. Однако этот вариант был отброшен из-за потенциального риска для безопасности, особенно в случае пожара на входе в тоннель, способного повредить большинство вентиляторов.

Таким образом, оптимальным распределением вентиляторов с учетом наибольшего воздушного потока, достигаемого в тоннеле, наименьшей длины кабеля и экономической эффективности является вариант 2В.

Поскольку рассматриваемый тоннель расположен в кривой, выполнено дополнительное моделирование с измененной схемой тоннеля при сохранении тех же случаев расстановки, что и раньше. Новые результаты по сравнению с предыдущими показаны на рис. 6.

В примере 1 в криволинейном тоннеле с тремя блоками вентиляторов поток воздуха при работающих вентиляторах составлял 838 м²/с. В примере 2А внутри тоннеля был достигнут поток воздуха 887 м²/с. В случае 2В поток воздуха составил 884 м²/с, а в случае 3 – 886 м²/с. Выбор варианта 3 из рассмотрения исключается как рискованный.

Очевидно, что во всех случаях создаваемый воздушный поток меньше, чем в прямолинейном тоннеле, из-за снижения эффективности струй вентиляторов, направленных на стены тоннеля.

Хотя вариант 2А в криволинейном тоннеле немного лучше, чем вариант 2В, сокращение длины кабеля, необходимое для варианта 2В, считается значительным. Поэтому вариант 2В остается лучшим вариантом расстановки вентиляторов в этом тоннеле.

Рассматривался также тоннель длиной 536 м и площадью поперечного сечения 75 м², внутри которого установлены 19 струйных вентиляторов диаметром 700 мм и мощностью 15 кВт, оснащенных дефлекторами. Вентиляторы распределены неравномерно и размещены с одной стороны тоннеля. Несмотря на относительно небольшую длину тоннеля и большое число вентиляторов, в нем наблюдаются проблемы с вентиляцией. Сильный ветер (около 5 м/с), дующий в тоннель и препятствующий вентиляции, – обычное явление.

Чтобы выявить корень проблемы, было проведено моделирование методами вычислительной гидродинамики для анализа поведения воздушного потока в тоннеле, когда вентиляция работает, а ветер направлен навстречу ее потоку.

Из графических результатов, полученных в ходе CFD-моделирования и представленных на рис. 7, видно, что распределение скоростей в тоннеле неравномерное, с низкими скоростями и даже рециркуляцией потока вдоль стороны, противоположной вентиля-

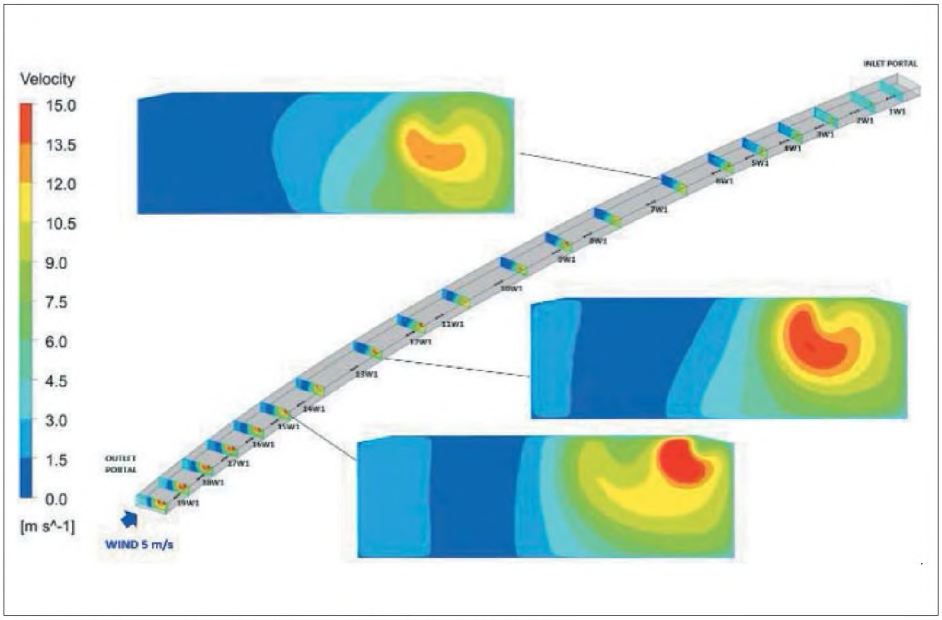


Рис. 7. Распределение скорости в различных сечениях

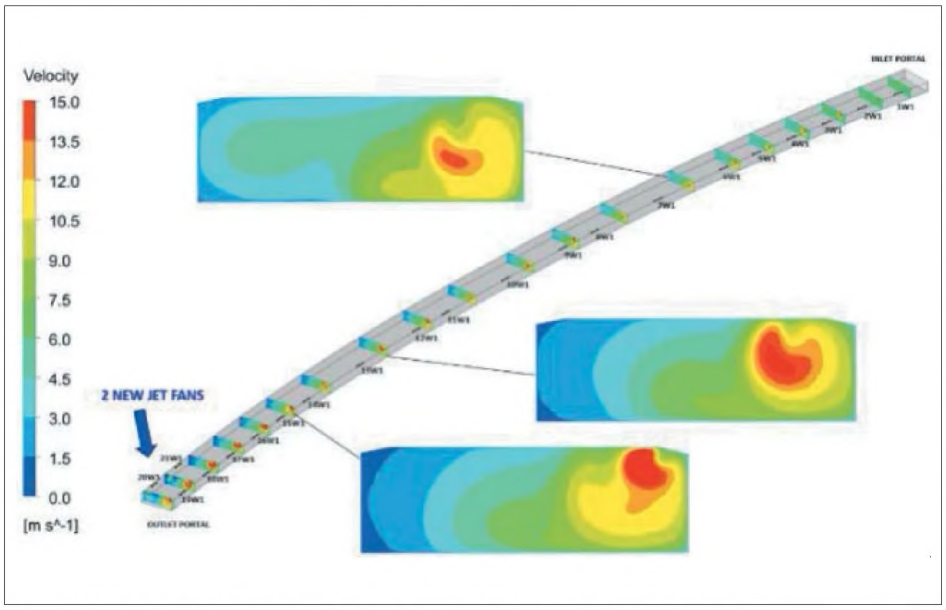


Рис. 8. Распределение скоростей в различных сечениях с двумя новыми вентиляторами (указаны стрелкой)

торам.

Таким образом, в этих условиях подтверждается, что вентиляция не является достаточной во всех зонах тоннеля, как предполагалось изначально.

В качестве решения для борьбы с эффектом ветра в тоннеле и достижения однородности скорости воздушного потока были испытаны различные конфигурации вентиляторов. Наиболее эффективный результат был достигнут при добавлении двух дополнительных вентиляторов близ выхода из тоннеля на стороне, противоположной остальным. Графические результаты, полученные в ходе CFD-моделирования с добавленными вентиляторами в тоннеле, представлены на рис. 8.

Результаты показывают, что установка двух новых вентиляторов близ выхода из тоннеля, на противоположной боковой стене от существующих вентиляторов, позволяет достичь равных или более высоких скоростей, превышающих 1,5 м/с, во всех сечениях тоннеля, эффективно устраняя прежние проблемы с рециркуляцией воздуха, даже когда сильный ветер у портала тоннеля дует в тоннель.

Таким образом, для тоннелей с большим поперечным сечением оптимальным решением является размещение вентиляторов на расстоянии нескольких метров один от другого. В случае тоннелей с информационными панелями выявлено, что в тоннелях с односторонним движением оптимальным решением является размещение информационных панелей на стороне всасывания вентиляторов.

Такое размещение оказывает меньшее влияние на среднюю скорость движения воздуха в тоннеле. Однако в тоннелях с двусторонним движением необходимо компромиссное решение, при котором информационные панели размещаются как можно дальше от вентиляторов.

Что касается распределения вентиляторов в тоннелях со значительной плотностью транспортного потока, то оптимальная конфигурация состоит из двух групп по три вентилятора в каждой, причем первая группа расположена у портала, а вторая – на расстоянии 12 гидравлических диаметров от него. Такая конфигурация обеспечивает максимальную скорость воздушного потока в тоннеле и при этом минимизирует длину кабеля, необходимого для электроснабжения. Вариант размещения всех шести вентиляторов у входа в тоннель не рекомендуется из-за потенциального риска для безопасности, особенно в случае пожара в тоннеле.

В случае криволинейных тоннелей эффективность струйных вентиляторов снижается по сравнению с прямолинейными тоннелями из-за отбрасывания воздуха к стенам тоннеля. Несмотря на небольшие различия, конфигурация с двумя блоками по три вентилятора в каждом, по одному в портале, остается наиболее практичным выбором, особенно с учетом требований к длине кабеля.

В тоннелях, где возникают проблемы с вентиляцией из-за сильного ветра, дующего против направления вентиляции, добавление двух дополнительных вентиляторов у выходного портала эффективно противодействует эффекту ветра, обеспечивая скорость 1,5 м/с или выше во всех сечениях тоннеля и исключая рециркуляцию воздуха даже при сильном ветре, дующем в тоннель.

Ключевые слова

Автодорожный тоннель; вентиляция; воздушный поток; вычислительная гидродинамика; информационные панели; расстановка вентиляторов.

Road tunnel; ventilation; air flow; computational fluid dynamics; information panels; fan arrangement; fan arrangement.

Список литературы

1. Ana Belйn Amado, Yunlong Zhao, Encarnaciyn Quesada Ruiz. Lessons learned from longitudinal ventilation worldwide and CFD-based solutions // Tunnelling for a Better Life – Yan, Celestino, Thewes & Eberhardt (Eds). P. 3328–3332. www.taylorfrancis.com

Для связи с автором

Конюхов Дмитрий Сергеевич
gidrotehnik@inbox.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ В ЕВРОПЕ

CURRENT STATE AND PROSPECTS FOR CONSTRUCTION OF RAILWAY TUNNELS IN EUROPE



В. В. Кравченко, к. т. н., кафедра мостов, тоннелей и строительных конструкций МАДИ
V. V. Kravchenko, PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MADI

Дан краткий обзор эксплуатируемых и строящихся железнодорожных тоннелей в европейских странах. Приведены различные способы строительства тоннелей с применением современного высокотехнологичного оборудования и эффективных компьютерных технологий.

Наибольшее внимание уделено проектным предложениям по строительству крупнейшего железнодорожного тоннеля Krusne Hory длиной около 30 м на скоростной магистрали, которая обеспечит связь портов Балтики и Средиземного моря.

Отмечается, что в нашей стране предусмотрено строительство целого ряда железнодорожных тоннелей под главным Кавказским хребтом, а также в районах Сибири и Дальнего Востока. Дальнейшее развитие транспортной инфраструктуры потребует расширения сети железных дорог, по трассе которых возникнет необходимость строительства горных и подводных тоннелей. грунтов.

A brief overview of railway tunnels in operation and under construction in European countries is given. Various methods of constructing tunnels using modern high-tech equipment and effective computer technologies are presented.

The greatest attention is paid to project proposals for the construction of the largest railway tunnel, Krusne Hory, about 30 m long, on a high-speed highway, which will provide a connection between the ports of the Baltic and the Mediterranean Sea.

It is noted that our country envisages the construction of a number of railway tunnels under the main Caucasian ridge, as well as in the regions of Siberia and the Far East. Further development of transport infrastructure will require expansion of the railway network, along the route of which the construction of mountain and underwater tunnels will be required.

В настоящее время на европейском континенте функционирует разветвленная сеть железных дорог, соединяющих крупные города и промышленные районы практически во всех странах. Значительная часть этих магистралей предназначена для движения скоростных пассажирских поездов. По трассе магистралей располагаются различные инженерные сооружения, в том числе тоннели.

На сегодняшний день в Европе успешно эксплуатируются такие уникальные железнодорожные тоннели как базисные горные Сен-Готардский (длина 57 км) (рис. 1) и Лечбергский (34,5 км) в Швейцарии, а также подводный тоннель под проливом Ла-Манш (53 км) между Англией и Францией [1].

На европейской части России эксплуатируется целый ряд железнодорожных тоннелей, среди которых Лысогорский (3,2 км) на линии Краснодар-Туапсе, большой Новороссийский (1,6 км) на Северном Кавказе, шесть тоннелей на трассе Адлер-«Альпика Сервис» суммарной протяженностью около 10 км и другие [2].

В ряде европейских стран продолжается строительство нескольких крупных железнодорожных тоннелей:

- базисного Мон-де-Амбин (57,3 км) в Котских Альпах между Францией и Италией (рис. 2);
- Бреннерского (55 км) через Штубайские Альпы между Австрией и Италией (рис. 3);
- Коральпе (32,9 км) через одноименный горный хребет в Австрии;
- Земмеринг (27,3 км) в районе Раке в Австрии;
- базисного Пахарес (24,66 км) в Астурии, Испания;
- на линии Фолло (19,5 км) в Норвегии;
- подводного Фемарн-Бельт (17,6 км) между Германией и Данией.

В европейской практике строительства транспортных тоннелей широко применяют современные технологии и высокопроизводительное оборудование, прежде всего тоннелепроходческие механизированные и автоматизированные комплексы, в состав которых входят щитовые агрегаты или проходческие комбайны.

Созданы и успешно применяются различные виды механизированных щитов диаметром до 15 м и более с рабочими органами преимущественно роторного типа, оснащенные высокопрочными режущими инструментами, а также щиты с пригрузочными камерами для проходки в неустойчивых водонасыщенных грунтах [3].

При горных способах для разработки скальных пород помимо буровзрывных работ применяют термическую резку роботизированными агрегатами.

В качестве временной крепи используют скальные анкеры, решетчатые арки, набрызг-бетонные покрытия, а также различные виды опережающей контурной и забойной крепи.

В процессе строительства тоннелей ведется непрерывный геотехнический мониторинг напряженно-деформированного состояния бинарной системы «тоннель-грунтовый массив», а также высокоточный геодезиче-



Рис. 1. Готардский базисный тоннель в Швейцарии

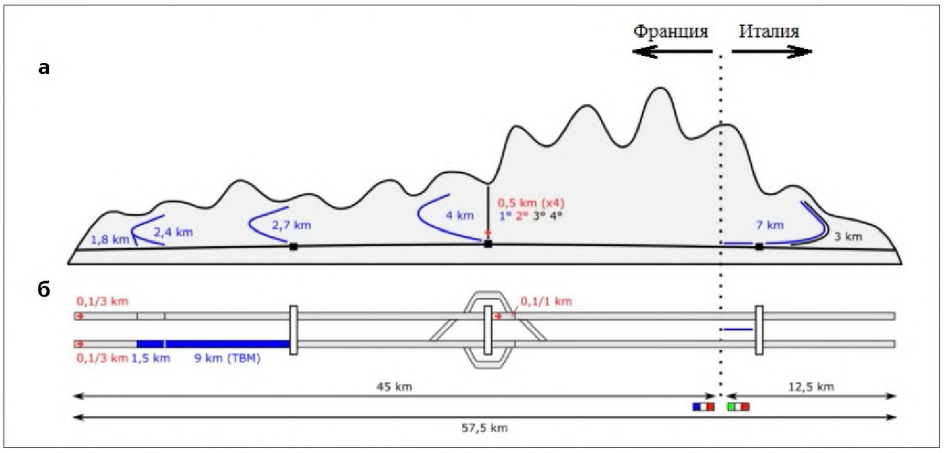


Рис. 2. Профиль (а) и план (б) строящегося Базисного тоннеля Мон-де-Амбин между Францией и Италией



Рис. 3. Штольня строящегося Бреннерского тоннеля между Италией и Австрией

ский контроль. При этом используются эффективные компьютерные технологии.

В ряде европейских стран рассматриваются перспективные проекты строительства горных и подводных железнодорожных тоннелей.

Наибольший интерес вызывают разработанные германской компанией Deutsche Bahn (ДВ) проектные предложения по строительству крупнейшего железнодорожного тоннеля Krusne Hory длиной около 30 км, который войдет в состав скоростной магистрали для связи портов Балтики и Средиземного моря. Это будет самый протяженный тоннель в Германии. Две параллельные однопутные выработки пройдут через Рудные горы, находящиеся на границе Германии и Чехии [4].

Рассмотрены несколько вариантов трассы тоннеля между городами Хайденау в немецкой земле Саксония и Усти-над-Лабем на севере Чехии [4].

При этом потребуется строительство 45 км подъездных дорог, 90 стрелочных переводов, а также создание нескольких новых стояночных мест для поездов.

С вводом тоннеля в эксплуатацию время в пути между Дрезденом и Прагой сократится в 2,5 раза. Кроме того, удастся разгрузить железнодорожную линию в долине реки Эльба, которая подвергается периодическим затоплениям.

Сооружение тоннеля признано наиболее эффективным решением с точки зрения экологии, движения железнодорожных составов и экономики.

В настоящее время готовится техническая документация, определяются источники финансирования.

К строительству тоннеля предполагают приступить в конце текущего десятилетия. Ориентировочные сроки строительства тоннеля – 10–12 лет, стоимость около 5 млрд евро.

В нашей стране в рамках Программы развития железных дорог предусмотрено строительство целого ряда тоннелей, в том числе под главным Кавказским хребтом, а также в районах Сибири и Дальнего Востока [4].

Дальнейшее развитие транспортного тоннелестроения будет способствовать улучшению межрегиональных связей, сокращению времени доставки грузов и перевозки людей, а также существенному оздоровлению экологической ситуации в прилегающих районах.

Ключевые слова

Железнодорожные тоннели, варианты трассы, непрерывный геотехнический мониторинг.

Railway tunnels, route options, continuous geotechnical monitoring

Список литературы

1. Фролов Ю. С. Тоннели на высокоскоростных железнодорожных магистралях // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике, № 1(26). – М., 2010.

2. В. Е. Меркин, М. Г. Зерцалов, Е. Н. Петрова. Подземные сооружения транспортного назначения. – М., Инфра-Инженерия. 2020, – 432 с.

3. Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула. Строительство городских автотранспортных тоннелей в сложных условиях. М., КНОРУС. 2019, – 276 с.

4. Интернет-ресурсы:

- URL:Режим доступа https://dzen.ru/a/ZXKdkc3UVTwS7-c-, свободный. - (Дата обращения 02.02.2025);
- URL:Режим доступа https://420on.cz/news/economics/50420-nemtsy-hotyat-doezzhat-do-pragi-iz-drezdena-za-50-min, свободный. - (Дата обращения 02.02.2025);
- URL:Режим доступа https://news.rdl.group/ru/3245, свободный. - (Дата обращения 02.02.2025).

Для связи с автором

Кравченко Виктор Валерьевич
609vvk@gmail.com

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИННОВАЦИИ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ – 2025»

5 и 6 февраля 2025 г. в Национальном исследовательском технологическом университете МИСИС в рамках ежегодного Международного научного симпозиума «Неделя Горняка» был проведен кафедрой строительства подземных сооружений и горных предприятий круглый стол «Инновации в подземном строительстве – 2025».





Симпозиум «Неделя Горняка» проходит ежегодно более 30 лет и собирает вместе представителей бизнеса, науки и образования со всего постсоветского пространства и некоторых зарубежных стран. На этом мероприятии обсуждаются актуальные проблемы и инновации в горнопромышленном комплексе России, а также ведущих компаниях, занимающихся вопросом освоения подземного пространства как в области проектирования, так и в области строительства сложных подземных объектов. В рамках этого симпозиума были также представлены передовые разработки и исследования учёных из горных вузов России и ближнего зарубежья.

В этом году в заседании круглого стола приняли участие более 100 учёных и специалистов, занятых в сфере наземного и подземного строительства, также свои доклады представили компании, занимающиеся разработкой и производством горнопроходческого оборудования и строительных материалов.

Всего в рамках двухдневного заседания круглого стола было заслушано 26 докладов, посвящённых актуальным проблемам подземного строительства и горного дела как в России, так и в других странах.

Церемония открытия первого дня заседания круглого стола «Инновации в подземном строительстве – 2025» началась с приветственных слов к участникам. С напутствием к участникам обратились: заведующий кафедрой СПСиГП, д. т. н., профессор Александр Никитович Панкратенко, генеральный директор АО «Трансинжстрой», к. т. н. Алексей Николаевич Машин, советник ректора НИТУ МИСИС, д. т. н., профессор Борис Арнольдович Картозия, д. т. н, профессор Петр Серафимович Сыркин, выпускник кафедры 1960 г., к. т. н. Валентин Николаевич Пуголовкин, выпускник кафедры 1994 г., начальник отдела польской компании AZN, к. ф. н. Петр Станиславович Волошин, а также профессор Ханойского горно-геологического университета Вьетнама Нгуен Суань Мань.

Модератором круглого стола по традиции стал заведующий кафедрой СПСиГП А. Н. Панкратенко. Александр Никитович рассказал участникам о кафедре СПСиГП, в частности, о её почти вековой истории и о





Приветственное слово заведующего кафедрой СПСиГП, д. т. н., профессора А. Н. Панкратенко



Выступление А. Н. Панкратенко

выпускниках, которые связали свою жизнь с подземным строительством. Отдельное внимание было уделено заслугам и достижениям кафедры как в прошлом, так и в настоящем времени. В частности, в 1990 г. Владимиру Асланбековичу Бессолову (выпускнику кафедры СПС 1961 г.) за большой вклад в сооружение Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, обеспечение ввода в постоянную эксплуатацию на всём её протяжении и проявленный трудовой героизм присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ему ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот». В июне 2012 г. Северомуйскому тоннелю присвоено имя В. А. Бессолова.

В 2019 г. коллективу специалистов в области подземного строительства (проф., д. т. н. А. Н. Панкратенко – руководитель работ): Валерий Евсеевич Меркин (д. т. н., проф., ген. директор ООО «Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации»), Сергей Николаевич Грошиков (ген. директор ООО «Бустрен РМ»), Эдуард Борисович Рубинчик (главный конструктор ООО «Бустрен РМ»), Александр Эзарович Сандуковский (тех. директор ООО «Бустрен РМ») – была присуждена Премия Правительства РФ за успехи в разработке и внедрении высокоэффективной технологии строительства линейных объектов метрополитена.

В 2024 г. под руководством зав. кафедрой А. Н. Панкратенко и А. А. Князева (выпускник кафедры СПСиГП 2024 г.) стартовала первая в России образовательная программа, посвященная применению технологий информационного моделирования в строительстве.

Особое внимание было уделено результатам работы кафедры в прошедшем 2024 г. Была представлена информация об учебной деятельности кафедры, выездных практических занятиях студентов на производственных площадках, где учащиеся всех курсов потом проходили практику. Отдельно было сказано о трудоустройстве выпускников кафедры в ведущие компании в сфере подземного строительства. В своем выступлении А. Н. Панкратенко отдельно заострил внимание на научном подразделении кафедры, которое уже не первый год успешно занимается реализацией нескольких научно-исследовательских проектов в сфере подземного строительства крупнейших горнодобывающих и строительных компаний России. В завершении своего выступления заведующий кафедрой поделился планами на 2025 г. по всем направлениям деятельности.

Продолжилась деловая программа докладом профессора кафедры СПСиГП М. С. Плешко на тему проблем реализации проектов строительства. Доклад начался

с обозначения основных задач, возникающих при проектировании и строительстве реальных объектов. В первую очередь это изыскательские работы, связанные с получением достоверных данных, а также информацией о свойствах и структуре пород окружающего массива вокруг выработки. На этапе проектирования зачастую появляются вопросы в обосновании оптимальных параметров конструкции крепи, ряда технических и технологических решений. С началом ведения работ по строительству проектировщики сталкиваются со сложностями в успешной реализации проекта на всех стадиях его жизненного цикла. Каждая проблема из представленного комплекса была подробно разобрана докладчиком на реальных примерах работ, выполненных научным подразделением кафедры СПСиГП.

Затем был заслушан доклад представителей Ханойского горно-геологического университета Вьетнама – профессоров Нгуен Суань Мань, Фам Мань Хао и Нгуен Ван Тхаи на тему «Определение несущей способности обделки тоннелей метро во Вьетнаме». Докладчики подробно рассмотрели существующую техническую базу для определения важнейшего показателя обделок и рассказали о тех проблемах, с которыми сталкиваются технические и научные специалисты Вьетнама при определении этого параметра. На примере комплекса выполненных работ был рассмотрен подход к определению несущей способности различных видов крепей тоннелей метрополитенов и выработок горнодобывающих предприятий. Отдельной частью доклада стал принцип моделирования обделок в специализированных геотехнических комплексах и порядок обработки полученных результатов.

Следующим с докладом по теме «Комплексный подход к восстановлению горно-промышленных предприятий ДНР – к 100-летию выпуска первых горных инженеров в Донбассе» выступил д. т. н., профессор С. В. Борщевский (ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»). В первую очередь спикер рассказал о ведущем учебном заведении Донбасса – ДонНТУ. Была затронута история его создания и развития, ключевые фигуры в истории этого учебного заведения и нынешняя деятельность университета. Наиболее актуальной задачей на сегодняшний день является восстановление промышленного комплекса Донбасса. ДонНТУ, как ключевое учебное заведение Донбасса в горнопромышленной области, предложил комплексный подход к решению этого вопроса. Спикер рассказал о необходимости восстановления и развития горно-металлургического комплекса,



Выступление М. С. Плешко, ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС



Выступление С. В. Борщевского, ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет»



Выступление Е. А. Аверина и В. В. Антипова, ООО «СОЭЗ»



Выступление А. А. Князева, АО «ДОМ РФ»



Выступление А. С. Саммаля, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

машиностроения, станкостроения, химической промышленности и углехимии, учета горнопромышленной экологии, рекультивации земель и развития сельского хозяйства, восстановления водных ресурсов и каналов, добычи и переработки полезных ископаемых, развития подземной и наземной инфраструктуры городов. Для решения комплекса существующих проблем был предложен подход к восстановлению шахтопроходческих, научных и проектных организаций этого региона, а также восполнению дефицита инженерных кадров.

Далее с совместным докладом выступили Е. А. Аверин и В. В. Антипов (ООО «СОЭЗ»). Темой сообщения стали решения для механизированной проходки горных выработок шахт и рудников. В настоящее время горнодобывающие компании стоят перед важным для развития всего общества вызовом – необходимостью увеличения объемов производства с целью удовлетворения растущего спроса на полезные ископаемые. Для этого необходимо развитие текущих и освоение новых месторождений. Для обеспечения доступа к залежам полезного ископаемого на большой глубине прежде всего необходима проходка вскрывающих горных выработок – вертикальных и наклонных стволов. Самым популярным способом проходки на сегодняшний день в скальных и полускальных породах является буровзрывной способ, альтернативу которому составляет механизированная проходка с применением стволопроходческих комбайнов. Именно эта технология сооружения горных выработок была подробно рассмотрена в докладе, где приводились её плюсы и минусы.

О внедрении технологии информационного моделирования в подземное и наземное строительство доложил А. А. Князев, выпускник кафедры СПСиГП 2024 г., который в настоящее время работает руководителем направления «Технологии информационного моделирования» в АО «ДОМ РФ». В первую очередь была рассмотрена вся существующая документация Российской Федерации, регламентирующая необходимость и полноту применения ТИМ в строительстве. Было обозначено, в каких случаях ТИМ являются обязательными. Для подготовки компетентных кадров в области технологий информационного моделирования на базе кафедры СПСиГП была организована программа дополнительного профессионального образования по направлению ТИМ. Докладчик подробно представил содержание этой программы и практические результаты после её реализации на примерах выпускных работ слушателей программы ДПО. В обучении важнейшим звеном является команда, тщательно сформированная из преподавателей университета и отраслевых специалистов специально для этой программы. Докладчик подробно рассказал о процессе обучения, получаемых слушателями компетенциях и успешном опыте внедрения ТИМ в реальное производство.

Затем был заслушан доклад д. т. н., профессора А. С. Саммаля (ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет») на тему «Математическое моделирование напряженного состояния многослойных обделок тоннелей, сооружаемых вблизи границы слоя пород с другими деформационными характеристиками». Докладчиком был предложен аналитический метод расчета многослойных обделок тоннелей, сооружаемых в массиве пород, сложенном двумя типами пород с различными физико-механическими характеристиками, граница раздела которых находится в непосредственной близости от подземного сооружения. Метод основан на строгом решении соответствующей плоской контактной задачи теории упругости, реализованном в виде компьютерного программного обеспечения. В своей презентации докладчик привел примеры расчета, иллюстрирующие этот метод.

Следующим выступил И. О. Ермолаев из ООО «Инверсия – Сенсор» с докладом на тему «Применение волоконно-оптических датчиков для контроля состояния вечномерзлотных грунтов. Термокосы, контроль фундаментов, контроль давления в пьезометрических скважинах, термоконтроль при новом строительстве». В первую очередь докладчик представил слушателям компанию «Инверсия – Сенсор» и рассказал о её истории и основных видах деятельности. В основной части доклада было подробно рассмотрено изготавливаемое этой компанией оборудование, а именно: волоконные решетки, точечные волоконно-оптические датчики, распределенные волоконно-оптические системы, системы мониторинга на основе термометрии, системы термометрии протяженных объектов и системы мониторинга инженерных кон-

струкций. В заключительной части доклада он рассказал об опыте и результатах внедрения этих систем на различных объектах, а также о полученных данных и их обработке.

О сверхпрочном фибробетоне Цементаль® для строительства и ремонта подземных сооружений рассказал Р. С. Чурилов (ООО «Цементум»). Докладчик познакомил слушателей с компанией «Цементум». Технология применения сталефибробетона была подробно раскрыта в презентации технологии подбора принятого в работу состава смеси, научного обоснования целесообразности применения этого состава и экономической эффективности от его внедрения. Были подробно рассмотрены результаты полного комплекса испытаний различных образцов и СПФБ и полученные характеристики состава. Одним из важнейших результатов работы стало сравнение полученных характеристик СПФБ с обычным бетоном различных марок, в результате которого был сделан вывод о превосходстве предложенного состава Цементаль. Докладчик представил слушателям текущие и реализованные строительные объекты, где уже применяется передовой СПФБ состав. В заключительной части доклада были рассмотрены перспективы для применения СПФБ составов и планы по дальнейшему его совершенствованию и развитию.

Об оснащении контрольно-измерительной и телекоммуникационной аппаратурой гидротехнических сооружений на примере Зарамагской ГЭС-1 доложил А. А. Тищенко (ПАО «РусГидро», Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»). Доклад начался с представления слушателям организации, её истории и основных видов деятельности. Далее для понимания выполненных работ был подробно проанализирован рассматриваемый объект – гидротехническое сооружение Зарамагской ГЭС. В своем сообщении выступающий обосновал необходимость установки измерительного оборудования на всех основных сооружениях гидротехнического комплекса.

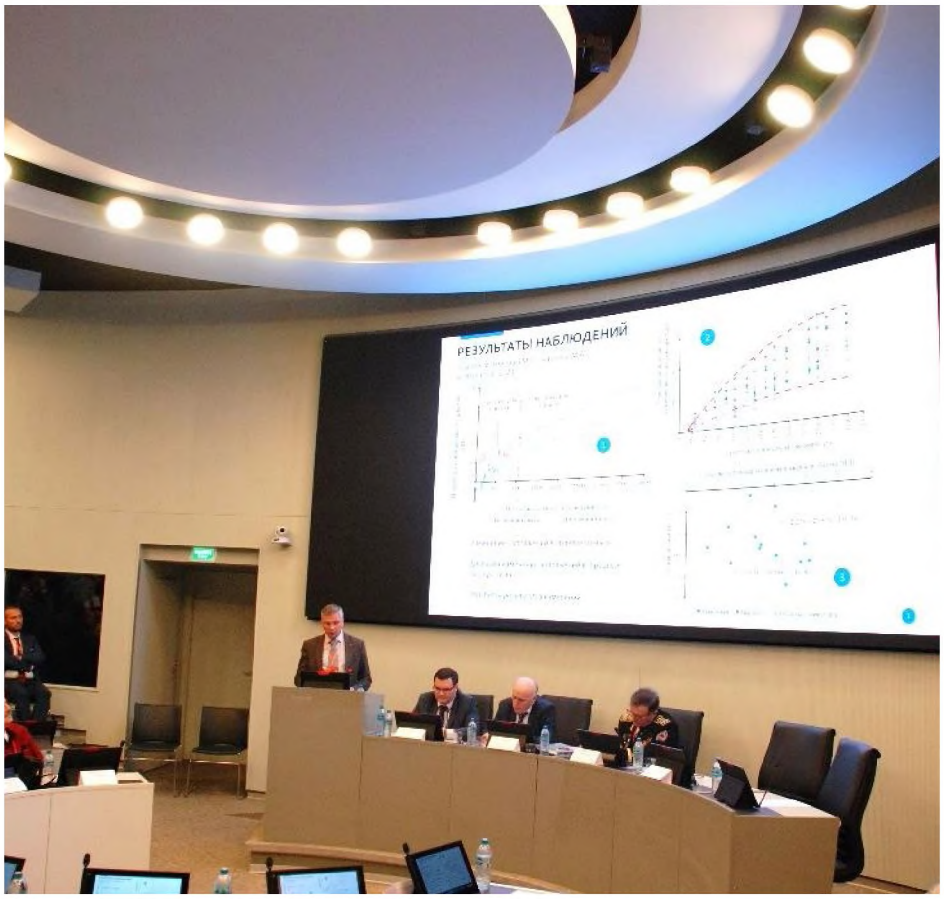
В рамках этой работы выработки были оснащены средствами измерения напряженно-деформированного состояния конструкции крепи, преобразователями силы для установки на арматурных стержнях, комплексами датчиков для измерения температуры, датчиками измерения линейных деформаций, датчиками для измерения давления ПДС-М и датчиками ГД для измерения напряжений грунта. В заключительной части доклада был представлен план выполнения работ, включающий интеграцию установленных датчиков в единую элек-



Выступление И. О. Ермолаева, ООО «Инверсия – Сенсор»


Выступление Р. С. Чурилова, ООО «Цементум»


Выступление А. А. Тищенко, ПАО «РусГидро», Филиал АО «Институт Гидропроект» – «НИИЭС»



Выступление М. О. Лебедева, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

тронную систему для сбора и анализа полученных данных, а также результаты анализа полученных на этом объекте измерений и выдача дальнейших рекомендаций по его эксплуатации.

Далее был заслушан доклад М. О. Лебедева из ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» на тему «Расчет крепей и обделок подземных сооружений с учетом их эксплуатации в техногенно-измененных грунтах». Работа основана на примере геотехнического мониторинга при строительстве подземных сооружений в Санкт-Петербурге, а именно строительстве двухпутных перегонных тоннелей диаметром 10,5 м. В рамках этой работы определялись фактические деформационно-прочностные свойства вмещающего массива после проходки с помощью сейсмоакустических исследований. В результате был получен кинематический разрез заобделочного пространства, рассчитаны основные динамические физико-механические характеристики слагающих грунтов. Вокруг тоннеля была выявлена зона «разуплотнения» со снижением деформационно-прочностных свойств на 30–50 %. Для рассмотренных выше условий был выполнен второй этап исследований через пять лет эксплуатации перегонного тоннеля по абсолютно идентичной системе наблюдений. Было доказано, что в бывшей зоне «разуплотнения» деформационно-прочностные свойства массива сравнялись со свойствами нетронутого массива. Комплекс геофизических и геомеханических исследований в сочетании с анализом имеющихся лабораторных исследований образцов пород, связанных с изменением влажности и наличием динамических нагрузок, дают возможность сделать вывод о влиянии вибродинамических нагрузок на изменение напряженно-деформированного состояния системы «обделка – вмещающий массив». Комплекс геофизических и геомеханических исследований в сочетании с анализом имеющихся лабораторных исследований образцов пород, связанных с изменением влажности и наличием динамических нагрузок, дает возможность сделать вывод о влиянии нагрузок от движения транспорта на изменение напряженно-деформированного состояния системы «обделка – вмещающий массив». Затем была сформулирована общая геомеханическая модель подземного сооружения, испытывающего действие техногенных факторов, а также разработан аналитический метод расчета.

В. А. Еременко из ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС выступил перед слушателями с докладом на тему «Расчет устойчивости и обоснование систем крепления горных выработок с использованием 3D моделирования на основе данных SLAM-сканирования». Материалы доклада основаны на комплексе примеров выполненных научно-исследовательских работ по расчету устойчивости горных выработок и обоснованию системы их крепления. В презентации было рассмотрено несколько примеров, характеризующие такие работы. В первую очередь для определения существующих параметров сооружений выполняется SLAM-сканирование выработок. Полученная информация подгружается в специализированный программный комплекс для построения объемной модели. Данная модель, характеризующая реальное состояние и параметры выработок, позволяет выполнить сравнение имеющихся данных с проектными параметрами и сделать вывод о тех или иных изменениях в крепи и сечении этих выработок. Следующим этапом работ является расчет устойчивости горных выработок и окружающего массива по нескольким методикам. Выдается заключение о состоянии исследуемого объекта, особенностях его дальнейшей эксплуатации, а также необходимости выполнения точечных ремонтных и комплексных работ, связанных с реконструкцией крепи выработок.

С докладом на тему «Авария в строительных тоннелях ГЭС Субансири Нижняя в Индии» выступил к. т. н., доцент кафедры СПСиГП В. Н. Жуков. Докладчик представил слушателям подробный анализ существующих и строящихся объектов ГЭС, включая подземные горные выработки, до произошедшей аварии. Также были подробно проанализированы физико-механические и геологические свойства массива, технология проходки подземных горных выработок и их существующие временные и постоянные крепи. Затем была подробно разобрана хронология произошедшей аварии. В частности, после увеличения потока воды, протекающей по выработке и сооружениям ГЭС, были изменены физико-механические свойства грунтов, в связи с чем произошел ряд обрушений обнаженных склонов вблизи ГЭС и провалов на территории гидротехнического объекта. В рамках ликвидации аварии был выполнен комплекс обследований для выдачи заключения о работоспособности горных выработок и комплексе мероприятий для приведения массива горных пород в стабильное и устойчивое состояние.

Следующим выступил д. т. н. П. В. Деев (ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»). Он рассказал участникам круглого стола об аспектах аналитического расчета подземных сооружений на сейсмические

воздействия землетрясений.

В работе рассматриваются вопросы расчета подземных сооружений, располагаемых в сейсмически активных районах. Предложена методика оценки напряженного состояния подземных сооружений при распространении в плоскости их поперечного сечения длинных продольных и поперечных сейсмических волн, позволяющая учитывать действие волн, отражаемых от земной поверхности при землетрясениях. На примере тоннелей Саньи (Тайвань) и Лунси (КНР), получивших значительные повреждения при разрушительных землетрясениях 1999 и 2008 гг., проверена целесообразность использования методики для сейсмического расчета подземных объектов, располагаемых в сейсмически активных районах. С помощью аналитического метода расчета на основе данных, имеющихся в научной печати, выполнен анализ сейсмонапряженного состояния обделок рассматриваемых тоннелей и сделан вывод о возможных повреждениях подземных конструкций при землетрясении. Выполнено сравнение результатов расчета обделок с использованием существующей и предлагаемой методик, результаты расчета и сделанные выводы сопоставлены с результатами обследования тоннелей.

Затем выступил Н. М. Урбанов из Института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) с докладом на тему «Схема вскрытия подземного рудника «Юбилейный». В презентации рассмотрена схема вскрытия подземных запасов месторождения трубки Юбилейная, а именно её глубоких горизонтов. На протяжении нескольких лет институтом «Якутнипроалмаз» был выполнен ряд работ по оценке экономической эффективности освоения глубоких горизонтов трубки Юбилейная подземным способом при различных схемах вскрытия, в рамках которых был подобран оптимальный инновационный способ сооружения вскрывающих выработок с применением механизированных тоннелепроходческих комплексов для повышения экономической эффективности отработки запасов.

А. С. Кульминский из Института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) более подробно рассмотрел одну из основных частей предыдущего доклада – передовой опыт в применении систем отработки запасов с самообрушением. Докладчик рассказал об основных параметрах разрабатываемого рудного тела, подробно рассмотрел предложенную технологию его отработки и представил все плюсы и минусы её использования. В работе подробно представлены и проанализированы все расчеты, не-



Выступление В. А. Еременко, ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС


Выступление В. Н. Жукова, кафедра СПСиГП


Выступление Н. М. Урбанова, институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА»



Выступление А. В. Гришина, кафедра СПСиГП

обходимые для обоснования и подбора этой технологии отработки запасов полезного ископаемого.

С докладом на тему «Обоснование метода определения предохранительных свойств ВВ по электромагнитному излучению при взрыве» выступил К. Н. Лабинский из ФГБОУ ВО «Донецкий национальный технический университет». Докладчиком была представлена инновационная технология определения ряда параметров и свойств взрывчатого вещества на примере реальных исследований и выполненных в университете работ. Докладчик рассказал о комплексе исследований электромагнитного излучения при выполнении взрывных работ, сборе и анализе полученных данных, а также разработанном методе, позволяющем определить ряд предохранительных свойств взрывчатых веществ по результатам этих наблюдений.

Затем выступил к. т. н., доцент кафедры СПСиГП А. В. Гришин. Он представил свою работу на тему «Особенности выбора методики управления геомеханическими процессами при комплексном освоении месторождений калийных и каменных солей». На примере соляных месторождений были рассмотрены и проанализированы процессы, протекающие в массиве горных пород и полезном ископаемом, представлены существующие зависимости развития и протекания геомеханических процессов для таких комплексов горных пород, а также сделаны выводы о необходимости наблюдения за рядом геомеханических параметров для обеспечения безопасности и качества подземных горных работ по разработке полезных залежей солей.

Заключительным в первый день круглого стола стал доклад на тему «Использование инновационных импортонезависимых профессиональных материалов и технологий при строительстве подземных сооружений и их эксплуатации». Докладчиками выступили А. В. Глухов и А. В. Черни из ООО «СТРИМ». Докладчиками была представлена общая информация о компании – её история, производимая продукция и объекты её внедрения. В основной части доклада спикеры акцентировали своё внимание на гидроизоляционных материалах, производимых собственными силами. Докладчики поделились опытом импортозамещения компонентов своих составов, а также рассказали о ключевых объектах и сотрудничестве с крупнейшими компаниями в области подземного строительства в России и странах ближнего зарубежья.

На этом деловая программа первого дня круглого стола «Инновации в подземном строительстве – 2025» была завершена. Модератор А. Н. Панкратенко провел дискуссию по результатам заслушанных докладов, а также выступил со словами благодарности ко всем участникам и докладчикам круглого стола.

В рамках второго дня мероприятия, 6 февраля 2025 г., были заслушаны следующие доклады аспирантов и сотрудников кафедры СПСиГП НИТУ МИСИС, а также приглашенных гостей:

- аспирант кафедры СПСиГП Д. С. Паринов (ПАО «ГМК «Норильский никель»), д. т. н., профессор М. С. Плешко (ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС). Определение параметров напряжённо-деформированного состояния крепи капитальных горных выработок в сложных горно-геологических условиях;
- И. Ю. Михеев (ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»). Инновации в области разработки строительных песков;
- Д. М. Дмитриенко (ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет имени Императрицы Екатерины II»). Совершенствование методик геотехнического сопровождения при строительстве подземных сооружений в плотных аргиллитоподобных глинистых породах;
- А. С. Кондратенко (ООО «Горный проектно-изыскательский научно-исследовательский институт»). Определение требуемых энергетических параметров для реализации технологии ударного погружения труб-оболочек в грунт;
- Г. В. Володин (ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС). Прямая задача технической сейсмоакустики для неоднородного распределения коэффициента бокового отпора;
- С. В. Анциферов (д. т. н., заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»). Математическое моделирование взаимодействия массива грунта и обделок тоннелей, сооружаемых с применением защитных экранов из труб;
- С. А. Чапоров (АО «Гипроцветмет»). Технологии проходки слепых стволов на примере рудника «Карнасурт»;
- аспирант кафедры СПСиГП А. С. Матвеев (ФГАОУ ВО НИТУ МИСИС). Научное обоснование этапов разработки сечения тоннеля при применении буровзрывных работ.

Обзор подготовили:

Панкратенко Александр Никитович
pankrat54@bk.ru
Плешко Михаил Степанович
pleshko.ms@misis.ru
Попонин Артём Романович
poponin.ar@misis.ru
Сафронов Артём Максимович

Уважаемые читатели журнала «Метро и тоннели»!

Начиная с этого номера, редакция будет знакомить вас со статьями наших постоянных авторов, опубликованных за последние десятилетия. В каждом номере журнала будет опубликован дайджест в виде кратких аннотаций некоторых статей одного-двух авторов, известных специалистов в метро- и тоннелестроении. С полными статьями читатели смогут ознакомиться по ссылкам в каждой аннотации на соответствующий номер журнала «Метро и тоннели», которые указаны в конце каждого дайджеста.

По мнению редакции, ознакомление с опубликованными в журнале «Метро и тоннели» статьями в определенной степени поможет специалистам, особенно молодым, а также студентам, обучающимся по специальности «Подземное строительство и строительство транспортных тоннелей и метрополитенов», ознакомиться с наиболее значимыми проблемами и их решениями, которые, к сожалению, недостаточно отражены в имеющейся учебной литературе.

В этом номере начинаем рубрику с ознакомления со статьями нашего постоянного автора, доктора технических наук, профессора И. Я. Дормана, посвятившего свою более чем 65-летнюю производственную, научную, проектную и преподавательскую деятельность метро- и тоннелестроению.

ПРОФЕССОР И. Я. ДОРМАН И ЕГО ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ОТРАЖЕННАЯ В ЖУРНАЛЕ «МЕТРО И ТОННЕЛИ»

Игорь Яковлевич Дорман, главный научный сотрудник Тоннельной ассоциации России, доктор технических наук, профессор, академик Российской академии естественных наук (РАЕН), Лауреат Государственной премии Совета Министров СССР, почетный транспортный строитель, заслуженный изобретатель СССР много лет активно сотрудничает с журналом «Метро и тоннели» как автор и рецензент статей, а с 2014 г. – заместитель председателя редакционной коллегии.

Палитра его производственного, проектного и научного 65-летнего опыта в метро-тоннелестроении была частично отражена во многих публикациях в нашем журнале, краткое содержание некоторых из них было бы интересно для специалистов подземного строительства.



Конструктивные решения многофункционального подземного комплекса на площади Павелецкого вокзала

На площади Павелецкого вокзала запроектировано возведение подземного многофункционального комплекса. Подземная часть занимает весь отведенный под строительство участок между Садовым кольцом, Павелецким вокзалом, Дубининской и Кожевническими улицами и имеет четыре основных и один технологический уровни. По своему объему он превосходит подобный комплекс на Манежной площади. Автономный 5-уровневый блок вдоль вокзала используется под автостоянки почти на 600 машиномест и технические помещения. На основе архитектурно-планировочных и технологических решений, выполненных ООО «Товарищество театральных архитекторов», отделами Новых строительных конструкций № 1 и № 2 института ГУП «Мосинжпроект» разработаны на стадии «Проект» и получили положительное заключение Мосгосэкспертизы конструктивные решения данного многофункционального подземного комплекса (И. Я. Дорман – в 1994–2010 гг. один из руководителей института ГУП «Мосинжпроект», Комплексный главный инженер проектов Гагаринских авто- и железнодорожных тоннелей, подземных многофункциональных комплексов на Манежной («Охотный Ряд») и Павелецких площадях и на пл. у Белорусского вокзала) [1].

Свод Правил 120.13330.2012 «Метрополитены» (Актуализированная редакция СНИП 32-02-2003)

По плану актуализации нормативных документов Министерства регионального развития Российской Федерации на 2011–2012 гг. и по заказу структуры Минрегионразвития РФ – Федерального центра нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве (ФАУ «ФЦС») ОАО «Метрогипротранс» разработало Свод правил СП 120.13330.2012 «Метрополитены» (Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003), введенный в действие с 01.01.2013 г. (И. Я. Дорман – вице-президент по научной работе института (2010–2022 гг.) – руководитель авторского коллектива) [2].

Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений, как фактор обеспечения единой научно-технической политики

Рассмотрены вопросы организации на постоянной основе научно-технического сопровождения проектирования и строительства подземных сооружений, как комплекса работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, способствующего обеспечению единой научно-технической политики [3].

Об основных принципах обеспечения сейсмостойкости транспортных тоннелей

До землетрясения в г. Ташкенте в 1966 г. практически отсутствовали нормы и правила про-

ектирования и строительства транспортных и других тоннелей в сейсмических районах.

В связи с необходимостью строительства в 9-балльных сейсмических зонах метрополитена в Ташкенте и сооружения горных тоннелей на трассе Байкало-Амурской магистрали в научно-исследовательском институте транспортного строительства Министерства транспортного строительства СССР (ЦНИИС Минтрансстроя) началась планомерная работа по разработке теории и практики проектирования и строительства (И. Я. Дорман – рук. лаборатории «Сейсмостойкость транспортных тоннелей 1985–1994 гг.). Основные принципы проектирования, включая специальные изыскания, методы расчета, проектирования сейсмостойких обделок, а также вопросы строительства и безопасной эксплуатации тоннелей в сейсмоопасных районах кратко изложены в [4].

Геотехнический мониторинг глубокого котлована кольцевого очертания

Рассмотрена методика и результаты геотехнического мониторинга впервые сооруженного в метростроении глубокого котлована кругового очертания диаметром 31 м без внутреннего распорного крепления для использования его в качестве многофункциональной монтажной камеры для ТПМК и последующего обслуживания нескольких забоев щитовой проходки. Мониторинг вертикальных несущих конструкций крепления котлована из БСС осуществляется автоматизированной системой, позволяющей в реальном масштабе времени следить за напряженно-деформированным состоянием крепления [5].

ТАР сегодня - это штаб отечественного «Метро-тоннелестроения»

В статье приводится один из знаменательных эпизодов деятельности ТАР в области технического прогресса в метро- тоннелестроении – начало широкого внедрения тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) в строительстве метрополитенов в нашей стране. Автор напоминает, что с 1932 г. начал издаваться журнал «Метрострой» как научно-технический и производственно-экономический печатный орган «государственного ударного строительства Московского метрополитена при президиуме Моссовета». Со дня основания Тоннельной ассоциации России журнал стал официальным печатным органом Тоннельной организации и обрел нынешнее название «Метро и тоннели», он играет заметную роль в деле пропаганды научно-технического прогресса в отрасли [6].

Вклад проектировщиков метрополитена в победу над врагом

В военные годы Московское метро превратилось в настоящий подземный город, который трудами проектировщиков и строителей был обустроен всеми необходимыми объектами для жизни человека. Метрополитен из транспортной системы стал объектом стратегического назначения, ответственным за гражданскую оборону и бесперебойность работы органов государственной власти. На станции «Кировская», переоборудованной в бомбоубежище, в начале войны работал Сталин. Там же заседал Генштаб. На «Красных Воротах» находился командный пункт руководства и оперативно-диспетчерского аппарата Наркомата путей сообщения. На «Белорусской», «Театральной» (ранее «Площадь Свердлова») и некоторых других разместились военные организации. Проектирование приспособления этих объектов осуществлялось в кратчайшие сроки, буквально за считанные дни, в том числе, специалистами Метропроекта. Но и в этой военной обстановке метрополитен в Москве, как транспортная система, продолжал проектироваться и строиться [7].

BIM-модель метро на базе лазерного сканирования. Создание актуальной модели подземных сооружений в ПО AUTODESK

Институт АО «Метрогипротранс» располагает ценнейшим архивом документов, описывающим архитектурные и инженерные решения метрополитена. На них и сегодня опираются проектировщики, планируя реконструкцию и ремонт. С участием автора статьи была внедрена система лазерного сканирования, благодаря которой качество и скорость изыскательских работ существенно увеличились. Так у бригады, состоящей из четырех человек, сканирование новых объектов только в «ночное окно» составляет примерно два часа для тоннелей и порядка пяти часов – для станционных объектов. А на обследование тахеометром со сбором аналогичного количества данных ушло бы не менее нескольких недель. В случае проведения обмерных работ на эксплуатируемых объектах метрополитена классическая тахеометрическая съемка и лазерное сканирование – просто несравнимые вещи [8].

Проектирование станции «Сосновая поляна» под канализационным коллектором в Санкт-Петербурге

Проектируемая станция метрополитена «Сосновая поляна» в Санкт-Петербурге расположена практически соосно под действующим канализационным коллектором диаметром 3,9 м. В связи с этим, в проектной документации и последующем строительстве станции необходимо предусмотреть технологические мероприятия при проходке для обеспечения минимальной осадки канализационного коллектора и его безаварийной работы, основанные на рекомендациях, некоторые из которых излагаются в статье [9].

Пересадочный узел между станциями «Путиловская» и «Кировский завод» метрополитена Санкт-Петербурга

В Санкт-Петербурге продолжается строительство Красносельско-Калининской линии метрополитена с пересадочным узлом между сооружаемой станцией «Путиловская» и действующей станцией «Кировский завод» Кировско-Выборгской линии. Комплекс сооружений пересадочного узла, в соответствии с № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» относится к сооружениям повышенного уровня ответственности (класс КС-3). В связи с этим потребовалась независимая оценка качества проектирования – АО «Метрогипротранс». Специалистами Тоннельной ассоциации России была выполнена такая работа, результаты которой излагаются в статье [10].

Обеспечение сейсмостойкости тоннельных конструкций проектируемого участка Ереванского метрополитена

В настоящее время возобновлено проектирование метрополитена в городе Ереване. Ереван находится в районе высокой сейсмичности, в связи с чем при проектировании, имея в виду этапы изысканий, расчета, конструирования и систем эксплуатации, необходимо использовать многолетней опыт отечественных организаций – АО «Метрогипротранс», ОАО «НИИПИИ «Ленметрогипротранс», Тоннельной ассоциации России и других при проектировании в районах высокой сейсмичности Российской Федерации и бывшего СССР подземных сооружений, в том числе горных транспортных тоннелей и метрополитенов (БАМ, Кавказ, метрополитены Ташкента, Еревана, Тбилиси, Алма-Аты), в проектировании которых непосредственное участие принимал автор статьи [11].

Актуализация Свода Правил СП 120.13330.2012 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены»

С 27 января 2023 г. вступил в действие Свод правил СП 120.13330.2022 «СНиП 32–02–2003 Метрополитены», в разработке которого приняли участие ведущие специалисты РФ в области проектирования, строительства и эксплуатации метрополитенов. Требования свода правил СП 120.13330.2012 «СНиП 32–02–2003 Метрополитены» были подвергнуты изменениям и нововведениям. Усовершенствование нормативного документа позволит повысить надежность и безопасность сооружений метрополитена, а также будет способствовать применению передовых технологий [12].

Оценка работ по ремонту гидроизоляции деформационного шва в подземной части стилобата

Была осуществлена оценка выполненной

в натуре гидроизоляции деформационного шва между основным многоэтажным зданием Многофункционального комплекса и пристроенным стилобатом с точки, которая не обеспечивала его водонепроницаемость. После инженерно-гидрогеологической оценки участка, Тоннельной ассоциацией России был проведен анализ документации на устройство узла гидроизоляции деформационного шва. В рамках консультационно-технического сопровождения работ были предложены мероприятия по обеспечению водонепроницаемости, в том числе технология и материалы. В результате после выполнения ремонтных работ по рекомендациям ТАР водонепроницаемость деформационного шва была обеспечена [13].

Организация строительства подземного пешеходного перехода через железную дорогу в районе платформы Быково

Специалисты Тоннельной ассоциации России осуществляют научно-техническое сопровождение при проектировании и строительстве пешеходного перехода через пути железной дороги без перерыва движения поездов по магистрали Москва-Казань в районе платформы Быково в Московской области под защитой экрана из труб, которое ведут мостостроительные организации. Проанализировав на стадии «Проект» метод строительства горным способом, было предложено заменить его на более прогрессивный и, главное, безопасный метод продавливания готовых секций [14].

Сооружение станции метрополитена на действующей линии без перерыва движения поездов

В статье изложен уникальный отечественный опыт реконструкции перегонных тоннелей в станцию метрополитена «Горьковская» (ныне «Тверская») без перерыва движения поездов на перегоне между станциями «Театральная» и «Маяковская» Замоскворецкой линии Московского метрополитена. Реконструкция осуществлена в 1976–1979 гг. строительно-монтажным управлением № 7 Московского метростроя (СМУ-7), в котором имел честь трудиться начальником смены на подземных работах один из авторов статьи [15].

Некоторые рекомендации по организации строительства вторых тоннелей на трассе БАМ

Исходя из накопленного отечественного и зарубежного опыта строительства сверхпротяженных горных тоннелей, изложены некоторые рекомендации, которые будут полезны при проектировании и строительстве вторых тоннелей на трассе БАМ:

- разработка оптимальных организационно-технологических схем (ОТС), как системы, обеспечивающей надежность и безопасность строительства;
- этапность формирования или конкретное наполнения ОТС;
- ОТС обусловлены как дестабилизирующими строительство факторами, с одной стороны, так и факторами, обеспечивающими безопасность строительства (стабилизирующими) – с другой;
- использование безопасных и безаварийных технологий подземного строительства в сочетании с комплексом мер по противопожарной защите, технике безопасности, охране труда и защите окружающей среды;
- анализ опыта организации процесса подземного строительства;
- внедрение надежных и эффективных ОТС и прогрессивных конструкторских технологических решений, обеспечивающих как использование всех резервов, так и надежность и безопасность подземного строительства;
- должно предусматриваться научное сопровождение (НТС) при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций, а также мониторинг при их возведении и эксплуатации [16].

Строительство верхнего вентиляционного узла станции «Савеловская» Большой кольцевой линии метрополитена в Москве

Тоннельной ассоциацией России (в соответствии с п. 8 ст. 48.1 Градостроительного кодекса РФ, а также п. 7 и 8 ст. 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и на основании п. 10.5 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований») по поручению АО «Мосинжпроект», как генерального проектировщика и генерального подрядчика строительства Большой кольцевой линии метрополитена в Москве (БКЛ) осуществлено научно-техническое сопровождение проектирования и строительства (НТСС) верхнего вентиляционного узла (ВВУ) подземного вентиляционного комплекса, расположенного в районе шахтного ствола № 1237 у ст. «Савеловская» БКЛ. В статье изложен анализ результатов работы по НТСС при проектировании и строительстве [17].

Список использованных источников

1. Самохвалов Ю. М., Дорман И. Я., Козеева Н. К. Конструктивные решения многофункционального подземного комплекса на площади Павелецкого вокзала // Метро и тоннели. 2008. № 5. С. 34–36.
2. Дорман И. Я. Свод Правил 120.13330.2012 «Метрополитены» (Актуализированная редакция СНИП 32-02-2003) // Метро и тоннели. 2013. № 1. С. 20–22.
3. Бычков Н. Н., Дорман И. Я., Елгаев С. Г., Мазеин С. В., Меркин В. Е., Мутушев М. А. Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений, как фактор обеспечения единой научно-технической политики // Метро и тоннели. 2015. № 1. С. 18–19.
4. Дорман И. Я. Об основных принципах обеспечения сейсмостойкости транспортных тоннелей // Метро и тоннели. 2015. № 1. С. 26–28.
5. Дорман И. Я., Силина О. К., Матикова Е. В. Геотехнический мониторинг глубокого котлована кольцевого очертания // Метро и тоннели. 2018. № 2. С. 26–31.
6. Дорман И. Я. ТАР сегодня – это штаб отечественного «Метро-тоннелестроения» // Метро и тоннели. 2020. № 1. С. 14–15.
7. Дорман И. Я. Вклад проектировщиков метрополитена в победу над врагом // Метро и тоннели. –2020. –№2. –С.10–12.
8. Дорман И. Я. BIM-модель метро на базе лазерного сканирования. Создание актуальной модели подземных сооружений в ПО AUTODESK // Метро и тоннели. –2020. –№ 3. –С. 20–21.
9. Дорман И. Я., Власюк В. Р., Слизов Д. Н., Павловский Д. А. Проектирование станции «Сосновая поляна» под канализационным коллектором в Санкт-Петербурге // Метро и тоннели. –2022. –№ 1. –С. 20–24.
10. Лебедьков А. Б., Дорман И. Я. Пересадочный узел между станциями «Путиловская» и «Кировский завод» метрополитена Санкт-Петербурга // Метро и тоннели. –2022. –№ 2. –С. 12–19.
11. Дорман И. Я. Обеспечение сейсмостойкости тоннельных конструкций проектируемого участка ереванского метрополитена // Метро и тоннели. –2022. –№ 4. –С. 12–14.
12. Конюхов Д. С., Кивлюк В. П., Потокина А. М., Дорман И. Я., Дощатов Д. А., Козин Е. Г., Данилов А. И., Чижиков В. П. Утверждение проекта пересмотра Свода Правил СП 120.13330.2012 «СНиП 32–02–2003 Метрополитены» // Метро и тоннели. –2023. –№ 1. –С. 24–25.
13. Мазеин С. В., Лебедьков А. Б., Дорман И. Я. Оценка работ по ремонту гидроизоляции деформационного шва в подземной части стилобата // Метро и тоннели. –2023. –№ 2. –С. 30–33.
14. Дорман И. Я., Лебедьков А. Б., Мазеин С. В. Организация строительства подземного пешеходного перехода через железную дорогу в районе платформы Быково // Метро и тоннели. –2023. –№ 3. –С. 2–9.
15. Дорман И. Я., Мазеин С. В. Сооружение станции метрополитена на действующей линии без перерыва движения поездов (отечественный опыт) // Метро и тоннели. –2024. –№ 1. –С. 8–12.
16. Дорман И. Я., Мазеин С. В., Лебедьков А. Б. Некоторые рекомендации по организации строительства вторых тоннелей на трассе БАМ // Метро и тоннели. –2024. –№ 3. –С. 37–38.
17. Дорман И. Я., Мазеин С. В. Строительство верхнего вентиляционного узла станции «Савеловская» Большой кольцевой линии метрополитена в Москве // Метро и тоннели. –2025. –№ 1. –С. 21–25.

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА ПОЛИЩУКА



28 апреля 2025 г. на 88-м году жизни скончался ветеран транспортного строительства Николай Александрович Полищук.

Николай Александрович родился 7 мая 1937 г. в г. Кагарлык Киевской области. В 1959 г. окончил строительный факультет Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта по специальности инженер-механик и начал свою трудовую деятельность в тресте «Целинтрансстрой» с должности механика, где за относительно небольшой срок возглавил СМП-306 в г. Джамбул, а с 1968 г. стал главным инженером треста. В 1975 г. Николаю Александровичу уже было доверено возглавить трест «Оренбургтрансстрой».

Н. А. Полищук непосредственно участвовал в сооружении вторых путей Целиноград – Павлодар. Возглавлял строительство новых железнодорожных линий Оренбург – Мурапталово, Погромное – Пугачевск, электрификацию железной дороги Оренбург – Орск. Руководил возведением вокзалов, аэропортов, общественных, культурных и спортивных сооружений в Целинограде, Оренбурге, Актюбинске, Уральске, Бузулуке.

Именно на этих стройках сформировались важнейшие черты характера Николая Александровича: преданность делу, дисциплина и добросовестное отношение к труду, интерес к перспективным направлениям развития науки и техники в транспортном строительстве. Эти собранные воедино качества во многом предопределили его дальнейшую производственную биографию: назначение сначала на должность заместителя начальника-главного инженера Главжелдорстроя Казахстана и Средней Азии Минтрансстроя (1980–1988 гг.), а затем перевод на работу в Главное техническое управление Министерства транспортного строительства в должности заместителя начальника управления, а впоследствии и начальника Главного научно-технического управления – члена коллегии министерства (1988–1991 гг.).

На этих постах Н. А. Полищук внес значительный вклад в развитие транспортной инфраструктуры Казахстана и Средней Азии, в реализацию комплексной программы «Мировой уровень», нацеленной на внедрение в отечественное транспортное строительство высших научно-технических достижений, в системную работу по повышению эффективности деятельности научно-исследовательских институтов и проектно-конструкторских организаций Минтрансстроя.

С 1991 г. Н. А. Полищук возглавил Научно-технический центр Корпорации «Трансстрой», созданный на базе структур Минтрансстроя, а в период с 1997 по 2005 г. возглавил формирование научно-технической деятельности Корпорации в должности ее вице-президента. После реорганизации Корпорации в мае 2005 г. он становится вице-президентом Группы компаний «Трансстрой». В этот период под его руководством решаются сложные вопросы научно-технического развития транспортного строительства, уделяется большое внимание обновлению нормативно-технической документации, разрабатывается и внедряется система научно-технического сопровождения строек, обеспечивающая высокие показатели строительно-монтажных работ. До последних дней своей жизни Николай Александрович активно участвовал в деятельности авторитетных общественных и научно-технических объединений – с успехом возглавлял Ассоциацию ученых и специалистов транспортного строительства, являлся членом президиума Российской академии транспорта (РАТ), председателем Отделения транспортного строительства РАТ, председателем редакционного совета отраслевого научно-технического и производственного журнала «Транспортное строительство», много времени уделял, в том числе, вопросам организации и деятельности Тоннельной ассоциации России.

Николай Александрович был инициатором и руководителем создания капитальных трудов о транспортном строительстве – энциклопедии «Транспортное строительство» и юбилейного издания «Полвека на благо Отечества» (к 50-летию отрасли транспортного строительства).

За свою трудовую деятельность Николай Александрович был награжден орденом «Дружбы народов» и тремя медалями СССР, орденом Почета РФ. Он был дважды удостоен звания лауреата премии Совета Министров СССР, являлся почетным строителем России, почетным строителем города Москвы, почетным транспортным строителем.

Тоннельная ассоциация России выражает глубокие соболезнования родным и близким Николая Александровича. Светлая память о Николае Александровиче Полищуке навсегда сохранится в сердцах метро- и тоннелестроителей России.

Правление Тоннельной ассоциации России

СИНЕРГО

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



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

ТДС тоннельно-дорожные системы

www.tunnelroads.com

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ:

- Архитектурной отделки
- Дверных конструкций с системами контроля и управления доступом
- Ревизионных люков
- Инженерных систем
- Освещения

При строительстве автодорожных тоннелей, железнодорожных тоннелей, подпорных стен, пешеходных переходов и других объектов тоннельно-дорожного строительства.



ООО «Тоннельно-дорожные системы»

+7 (495) 118 47 98
info@tunnelroads.com