

ЖУРНАЛ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ

ТА
ТОННЕЛЬНАЯ
АССОЦИАЦИЯ
РОССИИ

ISSN 1726-6165

Метро *и* тоннели

№ 4
декабрь 2025



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ИЗДАНИЕ

MTT

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

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

ИП Власов Н. О.
e-mail: metrotunnels@gmail.com
Журнал зарегистрирован
Минпечати РФ ПИ №77-5707

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

№4, 2025

В Тоннельной ассоциации России

Научно-техническая конференция
«Освоение подземного пространства мегаполисов
и транспортные тоннели – 2025»

С. В. Мазеин

2

Зарубежный опыт

Строительство подводных транспортных
тоннелей в Китае

В. В. Кравченко

11

Юбилеры отрасли

М. М. Рахимову – 70 лет!

13

Зарубежный опыт

Сотрудничество и визит в КНР

Н. Г. Бобылев

14

Автодорожные тоннели

Архитектура транспортных
тоннелей. Необходима ли эстетика
в подземных сооружениях?

Н. А. Сула

17

Экологичность, энергоэффективность
и надежность проектирования, строительства
и эксплуатации автодорожных тоннелей:
новые подходы

В. В. Космин, О. А. Космина

29

Щитовая проходка

Эволюция защитных мероприятий вывода
ТПМК с трассы в котлован при строительстве
Московского метрополитена

А. А. Долев, Д. С. Конюхов, Ю. А. Таратынов

34

Конференции

Международная научно-техническая конференция
«Экологичное строительство глубоких тоннелей
и инжиниринг подземного строительства» в КНР

39

IV Китайско-Российский форум молодых
ученых в области геотехники и подземного
строительства

42

Т. В. Шепитько, А. А. Пискунов, А. Р. Попонин,
И. В. Вдовина, Н. А. Телятников, А. А. Карпухина,
И. А. Галабурда, А. М. Шарипов, А. С. Кабулова

Юбилеры отрасли

Б. А. Картозия – 85 лет!

47

Исторический дайджест публикаций

Профессор Б. А. Картозия и его деятельность,
отраженная в журнале «Метро и тоннели»

48

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Монумент
метростроителям
России в Москве

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ОСВОЕНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ И ТРАНСПОРТНЫЕ ТОННЕЛИ – 2025»

12–13 ноября 2025 г. в Москве, в высотном здании гостиницы «Ленинградская» была проведена научно-техническая конференция «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели – 2025», организованная Тоннельной ассоциацией России (ТАР).



Генеральными партнерами мероприятия выступили АО «Мосинжпроект», АО «Мосметрострой», ГК «Моспроект-3», информационными партнерами – журнал «Метро и тоннели», транспортная газета «Евразия вести» и журнал «Инженер и Промышленник сегодня».

Целью конференции являлся обмен результатами последних научных исследований в сфере освоения подземного пространства; обсуждение проблемных вопросов в области инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации транспортных тоннелей, в том числе глубокого заложения и других подземных сооружений мегаполисов; обмен опытом по практическому применению современных строительных технологий и материалов, а также научно-техническому сопровождению подземного строительства. Мероприятие было призвано объединить специалистов научного и строительного сообщества подземного строительства и стать площадкой для обмена опытом в области научно-технической и коммерческой информации.

В конференции участвовало более 150 специалистов из 68 организаций России и ближнего зарубежья в сфере проектирова-

ния и строительства подземных сооружений: инженеров, архитекторов, проектировщиков, застройщиков, производителей материалов и технологий, подрядных организаций, представителей органов власти, вузов и научного сообщества.

По традиции с приветственным словом перед участниками конференции выступил председатель правления ТАР К. Н. Матвеев. После приветственной речи Константин Николаевич вручил трем новым участникам ТАР свидетельства о членстве в Тоннельной ассоциации России.

До начала деловой части конференции председатель правления ТАР К. Н. Матвеев вручил дипломы Тоннельной ассоциации России победителям конкурса дипломных работ среди студентов по проблематике освоения подземного пространства – 2025, в котором участвовало 29 номинантов из девяти вузов.

Далее слово взял А. А. Пискунов, д. т. н., проф., заведующий кафедрой РУТ (МИИТ), который поприветствовал участников конференции и вручил Благодарственное письмо от РУТ (МИИТ) компании АО НПО «Аконит» – спонсору IV Китайско-Российского форума молодых ученых в области геотехники и подзем-

ного строительства, в организации которого принимает активное участие Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России.



Вручение Благодарности от РУТ (МИИТ) компании АО НПО «Аконит»

Новые участники ТАР:



ООО «ИНГРИ»



ООО «НПО «Ясиноватский машиностроительный завод»



АО НПО «Аконит»

Вручение дипломов лауреатам конкурса студенческих работ ТАР:



лауреату в номинации «Освоение подземного пространства» И. Ю. Жданову (СГУПС)



руководителю лауреата в номинации «Транспортные тоннели» В. В. Барсукова – В. Е. Русанову (МГСУ)



преподавателю лауреатов А. А. Васильевой и В. М. Соболевой – Р. Н. Никонорову (МГСУ)



руководителю лауреатов Д. А. Ходакова и С. Ш. Саидрамуллоева – В. В. Кравченко (МАДИ)



лауреату в номинации «Шахтное строительство» А. Р. Попонину (МИСИС)



В. Н. Жуков, к. т. н. (МИСиС, Горный институт)



М. С. Плешко, д. т. н. (МИСиС, Горный институт)



М. О. Лебедев, к. т. н. (АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»)

Далее приступили к работе модераторы конференции: д. т. н., проф. В. Е. Меркин и д. т. н., проф. И. Я. Дорман, чтобы объявлять докладчиков, следить за временным регламентом и организовать дискуссии. Знакомим с содержанием представленных докладов.

Комплекс выработок для вентиляции подземных камер машинного зала и помещения трансформаторов Рогунской ГЭС (докладчик Жуков Владимир Николаевич, к. т. н. (МИСиС, Горный институт))

Подземный комплекс Рогунской ГЭС – один из самых масштабных в мире. Машинный зал ГЭС и помещение трансформаторов расположены в подземных камерах, и для вентиляции этих подземных камер и других подземных выработок напорно-станционного узла предусмотрен комплекс подземных выработок. В докладе приводится информация о подземных сооружениях для вентиляции подземных камер Рогунской ГЭС.

Опыт научно-технического сопровождения проектов строительства подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях (докладчик Плешко Михаил Степанович, д. т. н. (МИСиС, Горный институт))

Надежный прогноз и оценка устойчивости подземных сооружений, а также интенсивности динамических проявлений горного давления представляет собой сложную научно-практическую задачу, которая может решаться с использованием аналитических, эмпирических и численных методов в рамках НТС. В докладе рассмотрены примеры организации эффективного научного сопровождения строительства и реконструкции стволов.

Проектирование автодорожного тоннеля автомобильной дороги «Обход Адлера» (докладчик Лебедев Михаил Олегович, к. т. н. (АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»))

В проекте предусматривается строительство двух параллельных тоннелей внешним диаметром 11,9 м по две полосы движения в каждом. Строительство будет осуществляться с помощью тоннелепроходческих комплексов с активным пригрузом забоя. Длина тоннелей составляет 6 км. Припортовые участки попадают в зону действия оползневых отложений, что с учетом существующей застройки дневной поверхности потребовало разработки проектных решений по обеспечению устойчивости склонов и защиты зданий и сооружений. Проект успешно прошел государственную экспертизу.

Совершенствование и модернизация архитектурных, объемно-планировочных, конструктивных решений и технологии возведения односводчатой станции в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга (докладчики Панов Пётр Алексеевич, Имануилова Вероника Владимировна, Потехин Артем Андреевич (ООО «Метро-Проект»))

В докладе рассмотрены вопросы совершенствования архитектурных, объемно-пла-

нировочных, конструктивных и технологических решений односводчатых станций Петербургского метрополитена, с учетом современных тенденций проектирования, развития техники и технологии строительства подземных сооружений, при выполнении требований современных нормативных документов. Выполнено технико-экономическое сравнение вариантов решений станционного комплекса.

Геомеханическое обоснование устойчивости склона, содержащего горизонтальную выработку, пройденную параллельно земной поверхности (докладчик Анциферов Сергей Владимирович, д. т. н. (Тульский государственный университет))

На основе математического моделирования взаимодействия массива грунта склона и горизонтального тоннеля, сооруженного закрытым способом параллельно земной поверхности, включающего обоснование расчетной схемы, постановку и аналитическое решение соответствующей задачи теории упругости, полученное с использованием математического аппарата теории функций комплексного переменного, предложена методика геомеханического обоснования устойчивости склона, базирующаяся на определенном напряженном состоянии грунта вокруг тоннеля. Разработано программное обеспечение, позволяющее получение с использованием критериев прочности Кулона-Мора и Хука-Брауна изообластей грунта с различными запасами коэффициента устойчивости.

Эффективные технологии освоения подземного пространства (докладчик Глухов Андрей Владимирович (ООО «СТРИМ»))

Перечислены способы защиты тоннелей от углеводородного горения и варианты гидроизоляционной защиты при строительстве и реконструкции тоннелей. Приведены примеры ликвидации активных течей при тоннельном строительстве и применения инъекционных полиуретановых смол для укрепления и стабилизации обводненных грунтов. Продемонстрированы виды сухих смесей для конструкционного ремонта бетона и химические анкеры для тоннельного строительства.

Оценка деформаций земной поверхности при сооружении тоннелей с использованием ТПМК в мелкодисперсных грунтах (докладчик Никоноров Роман Николаевич (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»))

Исследование оценки деформаций при проходке тоннелей с применением ТПМК при учете основных технологических факторов на основе математического моделирования включает в себя следующие задачи:

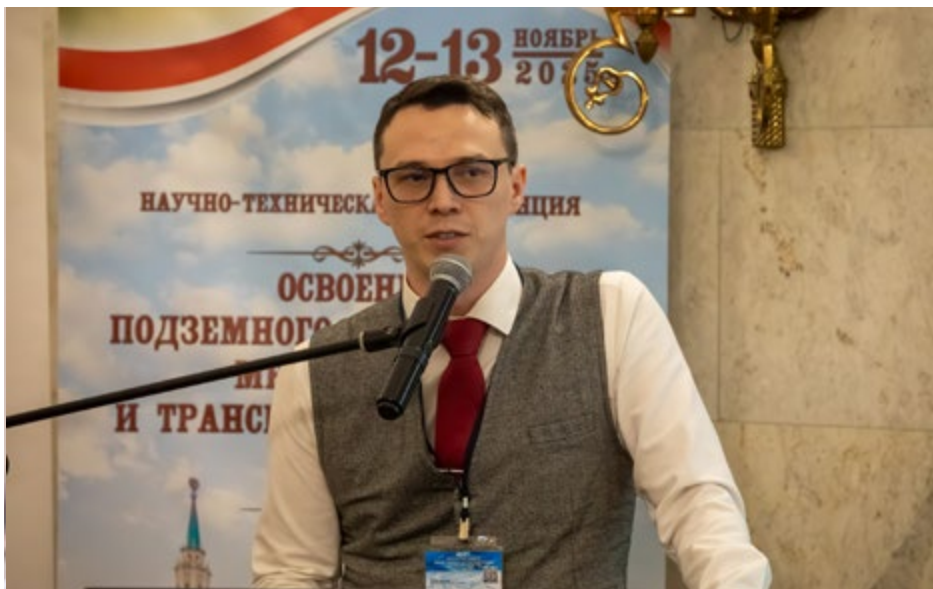
- выявление факторов, оказывающих наибольшее влияние на размер зоны влияния и максимальную осадку земной поверхности (диаметр резания щита ТПМК, глубина проходки тоннеля, физико-механические характеристики вмещающего грунтового массива,



П. А. Панов, В. В. Имануилова, А. А. Потехин (ООО «МетроПроект»)



А. В. Глухов (ООО «СТРИМ»)



Р. Н. Никоноров (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»)



П. С. Мильчевский (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»)



А. Р. Попонин (ФГАОУ ВО РУТ МИИТ)



В. А. Беляев (ООО «ИНГРИ»)

конусность щита, ширина строительного зазора, заполняемого тампонажным раствором);

- разработка расчетной геомеханической модели взаимодействия системы ТПМК/обделка тоннеля с грунтовым массивом;
- составление плана (матрицы) выполнения численных расчетов с использованием метода планирования эксперимента, моделирование процессов деформирования земной поверхности при проходке тоннелей с применением ТПМК.

Применение нелинейной модели пластического разрушения бетона при расчете фибробетонных обделок тоннелей (докладчик Мильчевский Павел Сергеевич (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»))

В работе рассматривается применение нелинейной модели пластического разрушения бетона при расчете фибробетонных обделок тоннелей. Модель реализована в программном комплексе Z_SOIL и позволяет учитывать процессы трещинообразования, повреждаемости и перераспределения напряжений в материале. Расчет выполняется для отдельных блоков обделки с учетом особенностей работы фибробетона в растянутой зоне. Для повышения достоверности расчетной модели проведена калибровка параметров на основе результатов трёхточечного испытания при изгибе образцов фибробетона. Использование нелинейной модели обеспечивает адекватное описание поведения конструкции вплоть до разрушения и позволяет более точно оценить несущую способность и трещиностойкость фибробетонных тоннельных обделок.

Определение технологии и параметров растепления многолетнемерзлого грунта при строительстве подземных сооружений и транспортных объектов (докладчик Попонин Артём Романович (ФГАОУ ВО РУТ МИИТ))

Значительная территория России расположена в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов. На этой территории ведется большое количество работ по строительству зданий и сооружений различного назначения, требующих предварительного растепления массива многолетнемерзлых грунтов.

Доклад посвящен вопросам разработки комплексной методики теплотехнических расчетов, направленной на обеспечение надежного проектирования и возведения фундаментов зданий и сооружений в регионах распространения многолетнемерзлых грунтов. Исследования включают анализ закономерностей теплообмена и процессов растепления грунтов, происходящих вблизи подошвы фундамента, что позволяет определить оптимальное сочетание конструктивных решений и мероприятий по предварительному искусственному размораживанию массива.

В рамках выполненной работы предложены подходы и алгоритмы, позволяющие рассчитывать глубину растепления массива мно-

голетнемерзлых грунтов паровыми иглами. Особое внимание уделено выбору размеров и конструкции паровых игл, а также схеме их расстановки.

Доклад иллюстрирует результаты выполненных в специализированном программном комплексе MIDAS GTS NX теплотехнических расчетов, проведенных по исходным данным реальных объектов капитального строительства в зонах Крайнего Севера.

Комплексное предложение по применению материалов компании INGRID на объектах метрополитенов (докладчик Беляев Вадим Анатольевич (ООО «ИНГРИ»))

На объектах транспортной инфраструктуры предложены составы для ремонта и защиты бетона, для подливочных и анкерочных работ, для противоскользящего покрытия пешеходных зон. Компания работает также с напыляемой гидроизоляцией ПОЛИМОЧЕВИНА WETISOL SPRAY. Инъекционные и пломбирующие составы ИНГРИ широко применяются при локальных протечках с сильным напором воды, интересен пример «вуалевой» гидроизоляции. Объекты применения: Московское центральное кольцо «Измайловский парк; транспортно-пересадочные узлы малого кольца Московской ж. д.; электродепо Братеево, вагоноремонтное депо Выхино (Москва).

Полимерные инъекционные составы. Свойства, различия, выбор (докладчик Лебедев Дмитрий Юрьевич (АО «Реконструкция и Модернизация»))

Важными параметрами инъекционных полимерных составов являются вязкость, плотность, скорость химической реакции, время жизни. Рассказано о свойствах инъекционных материалов – акрилатов, полиуретанов, эпоксидов. Приведены отличия однокомпонентных и двухкомпонентных полиуретановых составов. Сегодня технические решения с применением материалов торговой марки CETUS.PRO® успешно применяются на особо опасных и технически сложных объектах: автотрассных и железнодорожных тоннелях, тоннелях и станционных комплексах метрополитенов Москвы и Санкт-Петербурга, гидротехнических сооружениях, а также в жилых и общественных зданиях, в том числе и объектах культурного наследия.

Высокопрочные легкие конструкционные бетоны классов В50-В70 с управляемыми прочностными и деформационными характеристиками для конструкций высотных зданий, транспортных сооружений и сборных железобетонных обделок тоннелей (докладчик Каприелов Семен Суренович, д. т. н. (АО «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им. А. А. Гвоздева»))

ВПЛБ – новое поколение легких высокопрочных конструкционных бетонов, классов по прочности на сжатие В50-В70, марок по плотности D1600-D2000. Получаются из высокоподвижных и высокопластичных смесей не требующих дополнительного виброуплотнения.



Д. Ю. Лебедев (АО «Реконструкция и Модернизация»)



С. С. Каприелов, д. т. н. (АО «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им. А. А. Гвоздева)



Т. Е. Кобидзе, к. т. н. (АО «Мосинжпроект»)



А. М. Викулин (ООО «СПС»)



А. Ю. Глушенко (ООО «Русские Инъекционные Технологии» (РИТ))



А. Г. Полянкин, к. т. н. (АО «Мосинжпроект»)

Ключевые факторы технологии: зависимость плотности, прочности, модуля упругости от объема и характеристик легкого заполнителя, а также от модифицирования цементного камня.

Преимущества технологии: понижение на 15–25 % массы конструкций, повышенный модуль упругости и предел огнестойкости, высокая морозостойкость и сейсмостойкость.

Область применения: монолитные и сборные железобетонные конструкции, крупногабаритные сборные модули, пролетные конструкции мостов и путепроводов, сборная железобетонная обделка автомобильных тоннелей и тоннелей метрополитена.

Внедрение инновационной напыляемой гидроизоляционной системы с двухсторонней адгезией на Троицкой линии Московского метрополитена (докладчик Кобидзе Тенгиз Евгеньевич, к. т. н. (АО «Мосинжпроект»))

Представлена инновационная технология напыляемой гидроизоляции, использующая модифицированную битумно-полимерную эмульсию для достижения двусторонней адгезии. Цель разработки – обеспечение надежной и легко ремонтируемой гидроизоляции и защищаемых конструкций тоннельных обделок, независимо способа их возведения в открытом котловане (с пазами или без них для обратной засыпки грунта). В отличие от стандартных решений (наплавляемых, напыляемых), наше покрытие, наносимое на доступные поверхности (бетонную подготовку и ограждение котлована), благодаря особому механизму адгезии (вторичная адгезия) надежно соединяется и с недоступной внешней поверхностью лотковой плиты, и со стенами подземных сооружений, возводимых монолитным бетонированием в котловане без пазух.

Применение данной технологии вместо типовой наплавляемой технологии при гидроизоляции лотковых плит и особенно стен, возводимых в открытом котловане без пазух, дает ряд существенных преимуществ. Отсутствие адгезионного сцепления между наплавляемой гидроизоляцией и конструкцией приводит к тому, что при повреждении вода проникает под покрытие, вызывая обводнение и потерю гидроизоляционных свойств. Восстановление такой гидроизоляции методом инъекций по всей площади обводнения является крайне дорогостоящим, достигая 158 тыс. руб. за каждый квадратный метр обводненной конструкции.

Совершенствование системы нормирования в области ремонта и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций коммуникационных коллекторов (докладчик Викулин Андрей Михайлович (ООО «СПС»))

Совместно с АО «Москоллектор» ООО «СПС» проводит следующие работы:

- Разработка Изменения № 2 к СП 265.1325800.2016 «Коллекторы коммуникационные. Правила проектирования и стро-

ительства»;

- Разработка Проекта СП «Коллекторы коммуникационные. Правила проектирования и выполнения ремонта бетонных и железобетонных конструкций»;
- НИР «Оценка неблагоприятного воздействия среды на бетонные и железобетонные строительные конструкции коммуникационных коллекторов».

Учитывается специфика эксплуатации коммуникационных коллекторов. Произведено сравнение результатов проб с данными, полученными из железобетонных конструкций, находящихся вне зоны воздействия углекислого газа, влаги, хлоридов и динамических нагрузок. Полученные результаты позволят службе эксплуатации АО «Москоллектор» управлять состоянием железобетонных конструкций коммуникационных коллекторных тоннелей в части времени, объемов и стоимости выполнения профилактического, текущего и капитального ремонта, что чрезвычайно важно в условиях возрастающих динамических нагрузок и износа конструкций.

Инновационные материалы ООО «РИТ»
(докладчик Глуценко Александр Юрьевич
(ООО «Русские Инъекционные Технологии»
(РИТ))

Компания РИТ разработала новый уникальный класс кремнийорганических материалов для гидроизоляции, подходящих как для мостовых конструкций, так и для широкого спектра кровельного назначения и подземных сооружений с различными характеристиками. Разновидность для мостовой гидроизоляции с увеличенной прочностью на сжатие и температурной стойкостью может использоваться в качестве гидроизоляции, воспринимающей прочностные нагрузки. Можно считать конструкцию с вовлечением обделки в работу всей системы.

Цифровые технологии в проектном управлении строительства метрополитена в г. Москве (докладчик Полянкин Александр Геннадьевич, к. т. н. (АО «Мосинжпроект»))

Доложены результаты внедрения ТИМ, показано применение программных роботов на платформе Shepa RPA. Проиллюстрирована связка факта выдачи РД и графика производства СМР. На примере цифрового базового плана строительства можно проанализировать обеспеченность фронтов работ рабочей документацией и наладить систему мониторинга финансовых показателей и графика выдачи документации по объекту.

Технологии информационного моделирования в подземном строительстве (докладчики Панкратенко Александр Никитович, д. т. н., Князев Александр Александрович (МИСиС, Горный институт))

Освещены положения законодательства РФ по ТИМ и мировой опыт применения цифровых двойников при освоении подземного пространства мегаполисов. На базе кафедры СПС и ГП МИСИС запущена образовательная программа по ТИМ в подзем-



А. Н. Панкратенко, д. т. н. (МИСиС, Горный институт)



А. А. Князев (МИСиС, Горный институт)





ном строительстве. Приводятся примеры выпускных работ и выводы слушателей программы о преимуществах ТИМ: 3D-наглядность и структурированность информации об объекте; снижение количества ошибок и недоработок в процессе проектирования; автоматизированный контроль и снижение рисков повышения точности и скорости определения стоимости строительства; улучшение качества строительства; работа с полной базой данных в едином источнике и др.

После выступлений участники конференции смогли обсудить доклады, задать вопросы и пообщаться в неформальной обстановке.

В завершение насыщенного дня прошла торжественная церемония награждения лауреатов ежегодного конкурса Тоннельной ассоциации России «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений – 2024».

Во второй день конференции для всех докладчиков и участников был организован

технический тур на строящуюся станцию «Липовая Роща» Рублево-Архангельской линии Московского метрополитена, организованный АО «Мосметрострой». Экскурсанты ознакомились с работой уникального тоннелепроходческого комплекса диаметром 10 м, ведущего проходку двухпутного перегонного тоннеля в сторону ст. «Строгино».

Составитель материала:

С. В. Мазеин, Тоннельная ассоциация России



СТРОИТЕЛЬСТВО ПОДВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ В КИТАЕ

CONSTRUCTION OF UNDERWATER TRANSPORT TUNNELS IN CHINA



В. В. Кравченко,

к. т. н., доцент МАДИ, кафедра Мостов, тоннелей и строительных конструкций

V. V. Kravchenko

PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MADi

Анализируется опыт Китая по строительству ряда крупнейших подводных транспортных тоннелей. Приведены основные характеристики этих тоннелей (длина, размеры поперечного сечения, сроки и стоимость строительства). Среди построенных наиболее крупными являются автодорожный тоннель под озером Тайху (длина 10,79 км, диаметр 17,45 м), двухпутный железнодорожный тоннель под Чжэньцзянским заливом (длина 9,64 км), тоннель в составе автодорожного тоннельно-мостового перехода по дну Жемчужной реки (длина 7 км, ширина 46 м), железнодорожный тоннель, соединяющий провинции Сянган – Чжухай – Аомэнь (длина 6,7 км) – первый в мире тоннель, где движение поездов осуществляется со скоростью 350 км/ч.

Среди строящихся в настоящее время – уникальный железнодорожный подводный тоннель длиной 127 км под Бохайским заливом, а также двухтрубный тоннель длиной 16,2 км на высокоскоростной железнодорожной магистрали Нинбо – Чжоушань.

Рассмотрены особенности применяемого для проходки подводных тоннелей высокопроизводительного оборудования, а также автоматизированных систем управления.

The article analyzes China's experience in constructing a number of the largest underwater transport tunnels. The main characteristics of these tunnels (length, cross-sectional dimensions, construction time and cost) are given. Among the constructed tunnels, the largest are the road tunnel under Lake Taihu (length 10.79 km, diameter 17.45 m), the double-track railway tunnel under Zhanjiang Bay (length 9.64 km), the tunnel as part of the road tunnel-bridge crossing along the bottom of the Pearl River (length 7 km, width 46 m), the railway tunnel connecting the provinces of Hong Kong – Zhuhai – Macao (length 6.7 km) – the first tunnel in the world where trains travel at a speed of 350 km/h.

Among those currently under construction are a unique 127 km long underwater railway tunnel under the Bohai Gulf, as well as a 16.2 km long twin-tube tunnel on the Ningbo-Zhoushan high-speed railway.

The article examines the features of high-performance equipment used for driving underwater tunnels, as well as automated control systems.

В настоящее время в мире эксплуатируются многочисленные подводные транспортные тоннели и планируется строительство более 20 тоннелей, главным образом, в Японии, США, Западной Европе и Китае [1]. На сегодняшний день Китай является несомненным лидером по строительству подводных транспортных тоннелей, протяженность которых составляет около 230 км и скоро достигнет 300 км.

Высокая плотность населения и непрерывно возрастающие транспортные потоки обуславливают необходимость строительства подводных тоннелей через многочисленные водные преграды.

Основные преимущества подводных тоннелей по сравнению с мостами: защищенность от внешних природных и техногенных воздействий, нарушение судоходства и окружающей среды [2].

Далее приведен анализ современного опыта подводного тоннелестроения в Китае и даны некоторые рекомендации по совершенствованию техники и технологии строительства подводных тоннелей в различных инженерно-геологических, гидрологических, топографических и градостроительных условиях.

Крупнейшие подводные тоннели

В конце 2021 г. был введен в эксплуатацию автодорожный тоннель под озером Тайху, в 50 км от г. Шанхай в дельте реки Янцзы по трассе автомагистрали Чанчжоу – Уси протяженностью 43,9 км. Шестиполосный тоннель с двухсторонним движением длиной 10,79 км и диаметром 17,45 м заложен ниже дна озера на глубине до 20 м. По тоннелю предусмотрено движение автомобиль-

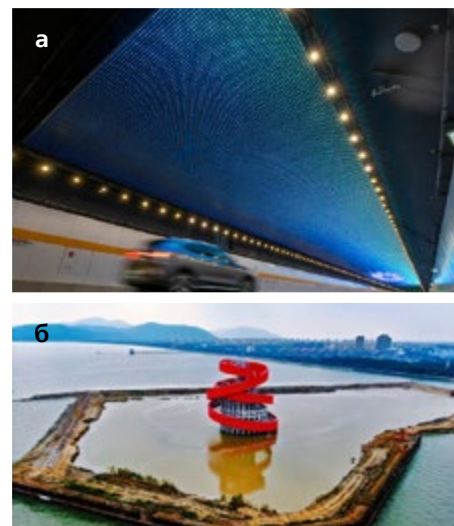


Рис. 1. Светящийся потолок из цветных светодиодных фонарей (а) и вентиляционный шахтный ствол на искусственном острове (б) тоннеля под озером Тайху



Рис. 2. Приемный котлован для щитового комплекса «Юнсин» при строительстве двухпутного железнодорожного тоннеля по трассе высокоскоростной магистрали Гуанчжоу – Чжаньцзян



Рис. 3. Поперечное сечение восьмиполосного тоннеля, проходящего по дну дельты Жемчужной реки

ных средств со скоростью до 100 км/ч [3]. Тоннель оборудован светящимся потолком из цветных светодиодных фонарей, предназначенных для снижения усталости водителей (рис. 1а).

По трассе тоннеля сооружены три вентиляционных шахтных ствола: два на береговых участках и один в средней части тоннеля на искусственном острове (рис. 1б).

При строительстве тоннеля потребовалось уложить большие объемы бетонной смеси. В связи с этим подрядчики компании Third Harbor Engineering разработали рациональные методы обработки и интеллектуальной системы мониторинга укладки бетонной смеси в режиме реального времени. Для защиты экологии озера в ходе реализации проекта применили автоматизированное оборудование для обработки стали и интеллектуальные мониторинговые системы, обеспечивающие нулевой сброс сточных вод и пыли.

Тоннель был построен за четыре года; стоимость строительства составила 1,56 млрд долларов [3].

Завершено строительство двухпутного железнодорожного тоннеля по трассе высокоскоростной магистрали Гуанчжоу – Чжаньцзян, где предусмотрено движение поездов со скоростью до 350 км/ч. Тоннель длиной

9,64 км заложен под Чжаньцзянским заливом на глубине до 50 м от поверхности воды в сложных инженерно-геологических условиях. На подводном участке длиной около 2,5 км и на береговых участках суммарной длиной 5 км проходку тоннеля вели в одном направлении механизированным щитовым комплексом «Юнсин» диаметром 14,33 м (рис. 2). Щит был специально модифицирован для восприятия большого гидростатического давления. Средняя скорость щитовой проходки составила 260 м/мес., а максимальная – 510 м/мес. Строительство тоннеля продолжалось чуть менее трех лет.

Завершается строительство восьмиполосной автомагистрали, проходящей по дну дельты Жемчужной реки [3]. Магистраль станет частью тоннельно-мостового перехода между городами Шэньчжэнь и Чжуншань. В состав перехода входят мост длиной 17 км, два искусственных острова и 7-км и тоннель шириной 46 м (рис. 3) [3].

Представляет интерес подводный железнодорожный тоннель длиной 6,7 км, соединяющий провинции Сянган – Чжухай – Аомэнь. Это первый в мире тоннель, где осуществляется движение поездов со скоростью 350 км/ч.

В настоящее время в Китае продолжается строительство самого длинного в мире (127 км) уникального подводного железнодорожного тоннеля под Бохайским заливом, являющимся частью Желтого моря [3]. Длина подводной части тоннеля составит 90 км. Глубина воды в заливе достигает 86 м, площадь водной поверхности – 77 тыс. м². Тоннель соединит два крупных порта – Далянь в провинции Ляонин и Янтай в провинции Шандун. Для перемещения по тоннелю автомобилей предусмотрены специальные железнодорожные платформы, аналогично тому, как это сделано в подводном тоннеле под проливом Ламанш. Время в пути по тоннелю составит 40 мин. Стоимость строительства оценивается в 32 млрд долларов; срок окупаемости капитальных вложений – 12 лет. Завершение строительства тоннеля намечено на 2030 г.

В Китае также ведется строительство подводного тоннеля на высокоскоростной железнодорожной магистрали Нинбо – Чжоушань. Тоннель соединит г. Нинбо на материковой части с островом Цзинтан в Восточно-Китайском море [3].

Двухтрубный тоннель длиной 16,2 км будет заложен на глубине 76 м в толще грунтов высокой прочности. Для проходки тоннеля китайская компания China Rail Construction изготовила уникальный щитовой комплекс (TBM) Dinghal диаметром 14,6 м и массой 4350 т. Комплекс доставят к месту строительства в разобранном виде по морю на расстоя-

ние 1300 км. Строительство тоннеля намечено завершить в 2028 г.

Заключение

Строительство в Китае ряда уникальных подводных транспортных тоннелей потребовало создания соответствующей технологической базы. В первую очередь, это касается тоннельно-проходческих щитовых комплексов больших размеров (диаметром до 17 м), способных вести проходку в сложных инженерно-геологических условиях высокими темпами.

Представляют интерес разработанные в Китае интеллектуальные системы мониторинга укладки бетонной смеси, а также автоматизированное оборудование для защиты окружающей среды. Кроме того, представленные новые конструктивно-технологические решения обеспечивают восприятие сейсмических воздействий интенсивностью до 7 баллов по шкале Рихтера.

Успешный опыт Китая по строительству крупнейших подводных транспортных тоннелей может быть использован во многих странах.

Ключевые слова

Подводные тоннели, щитовой комплекс, мониторинг укладки бетонной смеси.

Underwater tunnels, shield complex, monitoring of concrete mix laying.

Список литературы

1. Маковский Л. В., Кравченко В. В. Подводные транспортные тоннели из опускных секций. – М: КНОРУС, 2017. – 160 с.

2. Маковский Л. В. Перспективы развития подводного транспортного тоннелестроения. «Наука и техника в дорожной отрасли», 2007, № 4, с. 18–20.

3. Интернет-ресурсы:

URL:Режим доступа <https://www.techinsider.ru/technologies/794893-otkryt-samyi-dlinnyy-v-kitae-podvodnyy-avtomobilnyy-tunnel-on-nahoditsya-v-provincii-czyansu/>, свободный – (Дата обращения 30.08.2025).

URL:Режим доступа <https://undergroundexpert.info/opyt-podzemnogo-stroitelstva/poslednie-sobytiya/kitai-podvodnyy-avtotunnel/>, свободный – (Дата обращения 30.08.2025).

URL:Режим доступа <https://bigasia.ru/v-kitae-postroili-unikalnyy-podvodnyy-tonnel/>, свободный – (Дата обращения 30.08.2025).

URL:Режим доступа <https://bigasia.ru/v-kitae-postroili-unikalnyy-podvodnyy-tonnel/>, свободный – (Дата обращения 30.08.2025).

Для связи с автором

Кравченко Виктор Валерьевич
609vyk@gmail.com



**21 ноября 2025 г. нашему другу и соратнику
Марату Мулахмедовичу Рахимову исполнилось
70 лет!**

Трудовой путь Марата Мулахмедовича является ярким примером становления молодого и целеустремлённого человека в крупного, талантливого инженера и опытного организатора строительного производства.

Пятнадцатилетним юношей он начал трудиться дорожным рабочим в родном селе Георгиевка Жарминского района Семипалатинской области Казахской ССР, а в 1977 г. окончил учебу на факультете «Мосты и тоннели» в Новороссийском институте инженеров железнодорожного транспорта. После службы по специальности в железнодорожных войсках приобрел незаменимый опыт на стройке тоннелей легендарной Байкало-Амурской магистрали, метрополитена в Ташкенте и на строительстве на проходке Меградзорского тоннеля в Армении.

В 1986 г. вернулся на БАМ чтобы лично по представлению руководства Минтрансстроя СССР возглавить тоннельный отряд № 21 на строительстве уникального Северомуйского железнодорожного тоннеля. Накопленный практический опыт позволил Рахимову стать настоящим мастером дела, которому он служит. Ему по плечу решение любых, даже самых сложных профессиональных задач.

К 1997 г., когда ему доверили строительство Казанского метрополитена, Марат Рахимов неоднократно доказывал, что нерешаемых вопросов быть не должно. К примеру, отсутствие на российском рынке бетонных колец обделки тоннелей подвигло его при участии АО «Казанский Гипрониавиапром» к реанимированию завода КДСК. Было восстановлено и модернизировано производство. Запущена линия по изготовлению высокоточной бетонной обделки. В настоящее время здесь выпускается ЖБ-продукция не только для Казани, но и для Московского и Самарского метрополитенов.

С 2014 по 2019 г. Марат Мулахмедович – депутат Государственного Совета РТ. На этом ответственном посту он многое сделал для системы образования, для детей-инвалидов и сирот, пожилых людей, ветеранов Великой Отечественной войны. На счету Рахимова отремонтированные актовые залы, спортивные площадки, благоустроенные территории в школах и детсадах.

Благодаря высокому профессионализму, большому опыту, ценным знаниям, сильным лидерским качествам Марата Мулахмедовича, АО «Казметрострой» – одно из ведущих предприятий отрасли. Рахимова по праву считают одним из авторитетных лидеров, пользующихся высокой оценкой населения и руководства страны. Без сомнения, мастерство и компетентность в своем деле, присущие ему, будут способствовать дальнейшему развитию и процветанию региона, повышению жизненного уровня соотечественников. А организаторский талант, практические навыки, умение видеть перспективы позволят успешно осуществлять преобразования, направленные на решение стоящих перед отраслью задач.

Марат Мулахмедович Рахимов – настоящий гражданин своей страны. Он не словами, а делами заслужил авторитет и искреннее уважение народа. Его многолетний труд удостоен самой высокой оценки на государственном уровне. Он талантливый руководитель, патриот, созидатель и достойный сын Отечества.

Правление и Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России поздравляют Марата Мулахмедовича Рахимова со знаменательным Юбилеем и желают ему крепкого здоровья и дальнейших успехов во всех его делах, направленных на развитие Казанского метрополитена и отечественного метро-тоннелестроения.

СОТРУДНИЧЕСТВО И ВИЗИТ В КНР



Н. Г. Бобылев,

к. т. н., доцент кафедры Прикладной и системной экологии Экологического факультета Российского государственного гидрометеорологического университета; ведущий эксперт Единого научно-исследовательского и проектного института пространственного планирования Российской Федерации; член ТАР; сопредседатель Комитета по устойчивому развитию Международной тоннельной ассоциации

В Шанхае 24–26 сентября 2025 г. состоялся XII Международный форум по освоению подземного пространства (IFUS 2025), который собрал более 900 очных участников. В Китае сохраняется большой интерес и огромная потребность в развитии подземного пространства в городах и регионах, рост и развитие которых являются беспрецедентными в мировом масштабе за последние десятилетия. В преддверии форума Николай Геннадьевич Бобылев дал интервью (<https://mp.weixin.qq.com/s/HxvO101pd0q4lgjYMUg6Kg>), в котором затронул вопросы экологического территориального планирования и трехмерного пространственного планирования больших городов и промышленных зон. На форуме Н. Г. Бобылев выступил с приглашенной лекцией, посвященной интеллектуальным методам и технологиям планирования для устойчивого использования ресурсов городского подземного пространства.

Н. Г. Бобылев посетил Шанхайский институт муниципального инженерного проектирования (Shanghai Municipal Engineering Design Institut), где ознакомился с международными проектами и поделился видением декарбонизации инженерной инфраструктуры. Шанхайский институт муниципального инженерного проектирования был основан в 1954 г., сейчас имеет 5800 сотрудников и 2 миллиона долларов дохода (2021), международные проекты осуществляются в более 20 странах Азии и Африки.

По приглашению коллег из Сианьского университета Цзяотон (Xi'an Jiaotong University) Николай Бобылев принял участие в полевых исследованиях в деревне с традиционными подземными жилищами дикенгао (dikengyao). По результатам исследования планируется совместная научная публикация о сравнительном анализе различных типов полуподземных жилищ (Китай, Иран, Турция) и возможности их развития на основе концепции пассивного дома.

Результатом предыдущего сотрудничества с китайскими коллегами стала недавно вышедшая статья об истории, настоящем и будущем городских подземных парковок автотранспорта (Lingxiang Wei, Mingming Liu, Nikolai Bobylev, Junyuan Ji, Lei Yao, Tian Li, Lei Yu (2026) Urban underground car parking: present past and future. Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 168, Part 1, 2026, 107141, ISSN 0886-7798, <https://doi.org/10.1016/j.tust.2025.107141>).



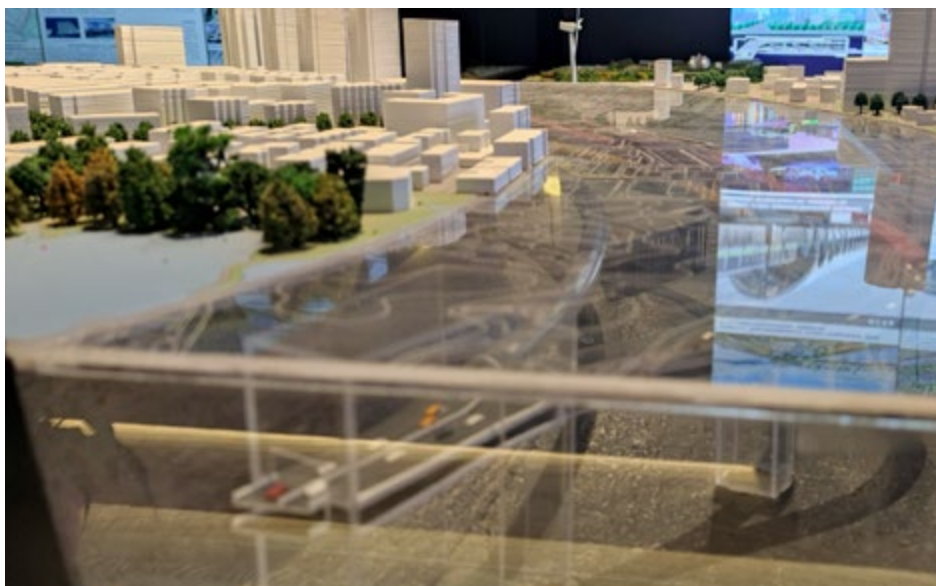
Тоннель в Шенянге. Фото: Николай Бобылев, 2025 г.



Подземный жилой дом дикенгао в деревне с традиционными подземными жилищами, Сиань. Фото: Николай Бобылев, 2025 г.



Тоннель в Шанхае. Фото: Николай Бобылев, 2025 г.



Макет подземной инженерной инфраструктуры улицы, Шанхайский институт муниципального инженерного проектирования. Фото: Николай Бобылев



Макет многослойного подземного пространства, Шанхайский институт муниципального инженерного проектирования. Фото: Николай Бобылев, 2025 г.



Постер лекции Николая Бобылева в Университете Тунци, 2025 г.



Постер лекции Николая Бобылева в Сианьском университете Цзятон, 2025 г.



Строящийся тоннель метрополитена в Шанхае. Фото: Николай Бобылев, 2025 г.



Выступление Н. Г. Бобылева на XII Международном форуме по освоению подземного пространства (IFUS 2025) 24–26 сентября 2025 г. в Шанхае. Фото: IFUS 2025

АРХИТЕКТУРА ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ. НЕОБХОДИМА ЛИ ЭСТЕТИКА В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ?

ARCHITECTURE OF TRANSPORT TUNNELS. IS AESTHETICS NECESSARY IN UNDERGROUND STRUCTURES?



Н. А. Сула,

зам. нач. управления искусственных сооружений MARKS GROUP (ООО «Подземпроект»)

N. A. Sula,

Deputy Head of Civil Engineering Structures Department of MARKS GROUP (Podzemproekt LLC)

В статье поднимается вопрос о роли архитектуры в транспортных тоннелях и о том, в какой мере необходимо учитывать ее при их проектировании и строительстве. На примерах рассмотрения различных способов архитектурного оформления отдельных элементов тоннелей, таких как портал, рампа, транспортная зона, притоннельные здания и сооружения, выполняется анализ того, насколько тоннели подвержены архитектурному восприятию и стоит ли этому уделять особое внимание.

The article raises the question of the role of architecture in tunnels and how much architecture should be taken into account when designing and building tunnels. The analysis of how much tunnels are susceptible to architectural perception is carried out using examples of various architectural design methods for tunnel elements, such as a tunnel portal, ramp, transport zone, and tunnel buildings.

Искусственные транспортные сооружения – мосты и тоннели, входящие в состав автомобильных и железных дорог, являются необычными сооружениями по сравнению с объектами промышленного и гражданского строительства. Они обладают рядом особенностей, главной из которых является их функциональность. Любой мост или тоннель обеспечивает преодоление какого-либо препятствия, связывает берега рек, озер и проливов, проходит над глубокими ущельями или под высокими горными массивами, беспрепятственно пропуская транспортные средства. Другой их особенностью является протяженность. Длина мостовых и тоннельных переходов может достигать нескольких десятков километров. Конструктивные особенности связаны с объемно-планировочными решениями, нагрузками, условиями строительства и эксплуатации. Еще одной особенностью таких сооружений является их общность, что отдельно подчеркнул сербский писатель, лауреат Нобелевской премии в области литературы Иво Андрич, сказав: «Из всего, что воздвигает и строит человек, повинная жизненному инстинкту, на мой взгляд, нет ничего лучше и ценнее мостов. Они важнее, чем дома, священнее, чем храмы, – ибо они общие. Они принадлежат всем и каждому, одинаково относятся ко всем, полезные, воздвигнутые всегда осмысленно, там, где в них возникает наибольшая нужда, они более долговечны, чем прочие сооружения, и не служат ничему тайному и злему».

Транспортные сооружения, в первую очередь, – инженерные объекты. Их объ-

емно-планировочные и конструктивные решения подчинены функциональности. Но вместе с тем, мосты – это пример одного из наиболее интересных и выразительных воплощений архитектуры. Их красота и величественность в разные исторические эпохи всегда привлекали взгляд путешественника, неизгладимо оставляя в памяти яркий запоминающийся образ инженерного сооружения.

Мосты строятся, и они становятся значительными доминантами в природных и городских ландшафтах. В связи с этим, при проектировании мостов необходимо руководствоваться не только утилитарными принципами экономичности строительства и простоты возведения, но и архитектурными принципами, учитывающими визуальное восприятие сооружения, увязку его с окружающим ландшафтом и сложившейся городской застройкой.

Следует привести цитату видного российского и советского ученого, инженера, мостостроителя Григория Петровича Передерия: «В высокой степени некультурно и для человека с высшим образованием непозволительно не отдавать должное эстетике в наших постройках. Жалкие ссылки на лишние расходы, будто бы с этим непременно связанные, указывают лишь на круглое невежество и первобытное культурное состояние инженера».

Архитектура в мостовых сооружениях играет важную роль наряду с инженерными, конструктивными и технологическими решениями. Однако возникает вопрос: насколько архитектура важна для транспортных тонн-

нелей? Необходимо ли при проектировании и строительстве тоннелей учитывать эстетику или достаточно лишь прагматика и утилитарность?

Для ответа на эти вопросы необходимо понять, насколько тоннели подвержены архитектурному восприятию. Обращаясь, например, к мостам, очевидно, что они в максимальной степени этому подвержены, так как полностью открыты взору. К мостам применимы основные архитектурные принципы: архитектоника, гармоничное включение в окружающую среду, узнаваемость архитектурного облика и др. Кроме того, для достижения максимальной архитектурной выразительности в мостах достаточно широко учитывают элементы визуального дизайна, такие как линия, очертание (силуэт), объем (форма), цвет, текстура. При проектировании мостов учитывают и эстетические качества дизайна – пропорцию, ритм, порядок, гармонию, баланс, контраст, масштаб и др.

Основной особенностью тоннелей, в отличие от мостов, является их скрытность. И это ставит под сомнение разговоры вообще о какой-либо архитектуре в тоннелях. Если сооружение не видно издали, отсутствует возможность восприятия его силуэта, ощущения гармонии с окружающим ландшафтом и т. п., то может архитектура в тоннелях действительно излишня?

Тоннельный переход, как и любое сооружение, состоит из разных частей. К ним относится непосредственно тоннель (закрытая часть), а также рампы, порталы, притоннельные сооружения. Наибольшей архитектурной

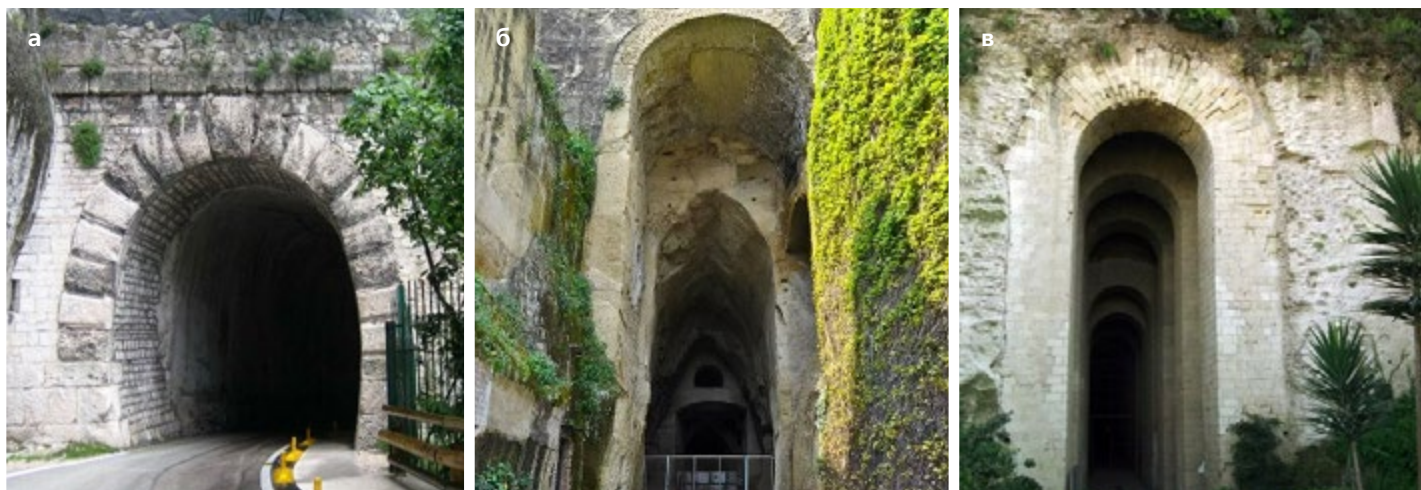


Рис. 1. Порталы древнеримских тоннелей: а – тоннель через ущелье Фурло; б – тоннель Крита Неополитана; в – тоннель Гротта ди Сейано (из онлайн-энциклопедии «Википедия»)



Рис. 2. Порталы горных железнодорожных тоннелей: а – портал тоннеля Мон-Сени в Альпах, б – портал тоннеля на Кругобайкальской железной дороге (<https://i.pinimg.com/originals/35/44/80/354480c8362f86152ad37d699ed8842e.jpg>)

выразительностью обладают открытые взору конструкции и элементы частей тоннельного перехода, которые может наблюдать человек на подъездах к тоннелю или во время движения по нему.

Порталы. Конечно же, в первую очередь, следует обратить внимание на порталы – подпорные конструкции, ограничивающие закрытую часть тоннельного перехода. Порталы являются именно теми элементами, которые всегда предстают взору путника при въезде в тоннель. Еще с древности, со времен античности, порталам транспортных тоннелей старались придавать архитектурную выразительность. Одним из примеров может служить портал тоннеля через ущелье Фурло (рис. 1а), расположенного на древнеримской дороге Виа Фламиния в итальянской области Марке. Тоннель был пробит по приказу римского императора Веспасиана в 76 году н. э., чтобы облегчить проход по Виа Фламиния в самой узкой части ущелья. Также следует упомянуть порталы одних из самых

длинных древнеримских транспортных тоннелей Крита Неополитана (рис. 1б) и Гротта ди Сейано (рис. 1в) в Неаполе протяженностью 705 и 780 м соответственно. Эти тоннели являлись не только функциональными объектами, но и архитектурными украшениями города. Автором тоннелей был архитектор Луций Кокцей Ауктус, который, имея влияние на заказчиков и строителей, реализовал свое искусство, украсив тоннели впечатляющими порталами и внутренней облицовкой.

В дальнейшем, в эпоху Возрождения, Нового времени и т. д., порталам тоннелей старались придавать схожие архитектурные черты – арочные конструкции из камня или кирпича, зачастую обрамленные выделяющимися архивольтами (рис. 2). Такой внешний вид порталов стал подавляющим для горных тоннелей в течение продолжительного времени и фактически превратился в классический эталон архитектурного оформления.

В архитектурном оформлении порталных стен горных тоннелей большое значение

имеет характер поверхности или ее фактура. По визуальному восприятию поверхность может быть гладкой или рельефной. Гладкие поверхности являются наиболее простыми в отношении их реализации, однако абсолютно невыразительными в отношении архитектурного восприятия. Рельефная поверхность обладает более привлекательным внешним видом. За счет игры света и тени такая поверхность придает порталной стене особую выразительность. Создание рельефной поверхности тоннельных порталов в прошлом обеспечивалось естественным образом за счет каменной или кирпичной кладки. В современных порталах применяют, как правило, имитацию кладки или используют другие элементы, создающие рельеф – линейные или криволинейные углубления, ребра, грани, ламели, волны, выступающие друг относительно друга смежные поверхности и т. п.

Немаловажную роль для порталных конструкций играет цвет. Цветовое оформление способствует выделению портала из общей



Рис. 3. Порталы горных автодорожных тоннелей с преобладающим цветовым оформлением: а – порталы Хостинского тоннеля в Сочи; б – портал тоннеля Восточного въезда в Уфе (из поисково-информационной картографической службы «Яндекс Карты»)

окружающей среды, делает его заметным издали, повышает безопасность въезда в тоннель. Для этой цели используют яркие и контрастные цвета, выделяя, например, арки вольты арочных въездов на фоне порталных стен (рис. 3).

Цвет влияет и на эмоционально-образную характеристику восприятия, придавая portalу большую привлекательность. Цвет способствует преодолению однообразности и однотонности, а также обеспечивает индивидуальность и привносит оригинальные черты тоннелю относительно других подобных сооружений. Нужно помнить, что цветовое решение портала не должно быть беспорядочным. При выборе цветов следует учитывать правила цветовой гармонии и основы цветовой композиции.

Удачное цветовое оформление порталов способно снижать у водителей или пассажиров психологический дискомфорт въезда в более темное тоннельное пространство. Очень часто при реконструкции старых тоннелей этому уделяют особое внимание. В качестве примера можно привести реконструкцию Рокского тоннеля между Северной и Южной Осетией. Построенный еще во времена СССР, тоннель имел изначально невзрачные гнетущие порталы. Состояние тоннеля и его порталов сильно усугубилось из-за грузинско-югоосетинского конфликта, в результате которого тоннель практически целое десятилетие оставался полностью безхозным. И только лишь вынужденная и безотлагательная его реконструкция, проведенная Россией в период 2010–2014 гг., позволила кардинально обновить порталы, которые получили яркое оформление в цветах государственных флагов России и Южной Осетии (рис. 4).

При оформлении порталов применяют также малые архитектурные формы или другие дополнительные архитектурные элементы,



Рис. 4. Рокский тоннель: а – внешний вид первоначального портала, б – обновленный портал после реконструкции (<https://photographvkodinskephoto.ru/izbrannoe/rokskij-tonnel-foto>)

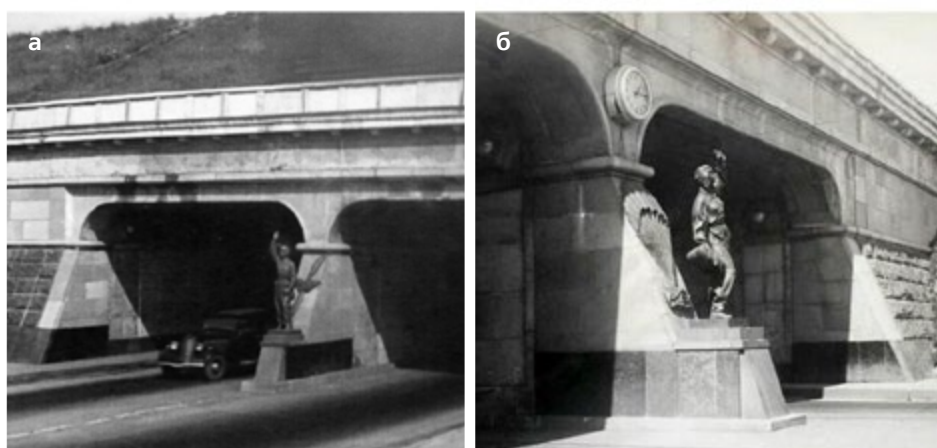


Рис. 5. Тушинский тоннель под каналом им. Москвы: а – вид на портал со стороны области; б – вид на портал со стороны центра (<https://pastvu.com/p/873467>)

устанавливаемые рядом с порталами или композиционно объединяемые с ними. К малым архитектурным формам можно отнести скульптурные группы, стелы, обелиски, арки, а также барельефы, декоративную фасадную лепнину и т. п.

Скульптурами были в свое время украшены порталы Тушинского тоннеля на Волоколамском шоссе под каналом им. Москвы (рис. 5), построенного в 1935–1937 гг. Скульптуры имели авиационную тематику, так как доро-

га вела к Тушинскому аэродрому. Со стороны области была установлена скульптура пилота, а со стороны центра – скульптура парашютистки. К сожалению, сами скульптуры, а также барельефы за ними до наших дней не сохранились.

Порталы Мацестинского тоннеля в Сочи украшены барельефами (рис. 6а). Портал Гимринского тоннеля в Дагестане имеет декоративную центральную башню (рис. 6б). А въезд в тоннель Монблан в Альпах предва-

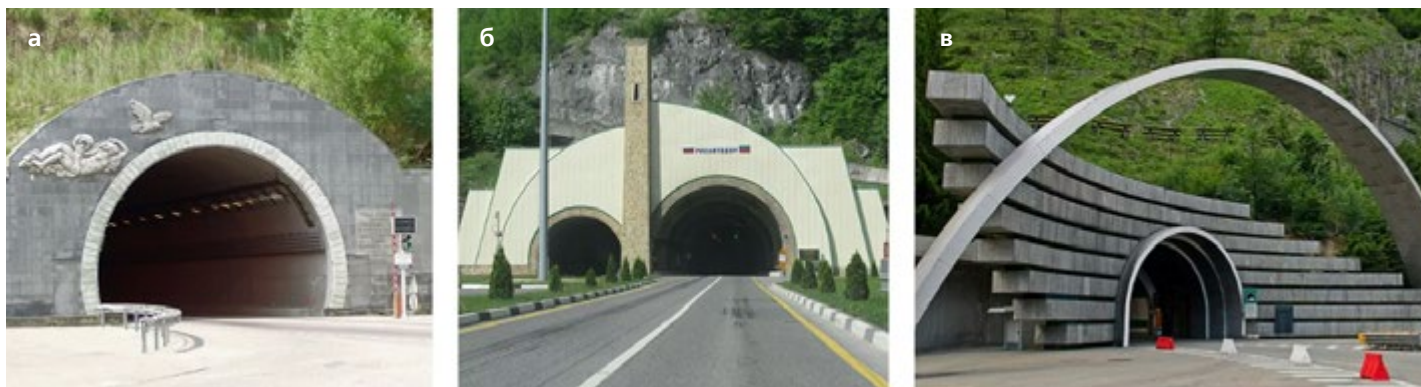


Рис. 6. Порталы тоннелей с дополнительными элементами архитектурного оформления: а – Магестинский тоннель; б – Гимринский тоннель; в – тоннель Монблан (из онлайн-энциклопедии «Википедия»)

ряет элегантная пологая металлическая арка (рис. 6в).

В некоторых случаях оформление порталов подчинено национальным культурным традициям. Например, внешний вид порталов может быть выполнен в традиционной архитектуре, присущей той или иной стране, или какому-то отдельному региону, где проложен тоннель. Причем в порталах может находить отражение не только современная традиционная архитектура, но и архитектура отдельных исторических периодов. Примером может служить северный портал железнодорожного тоннеля Клейтон в Англии в виде средневекового замка с башнями и стрельчатой аркой въезда (рис. 7а). Особым национальным колоритом обладают некото-

может быть вертикальной или иметь наклон, совпадающий с уклоном горного склона. Оголовки горных тоннелей также могут иметь привлекательное внешнее оформление, а некоторые из них – неординарные архитектурные решения (рис. 8).

Порталы городских тоннелей, по сравнению с горными тоннелями, имеют достаточно простые конструктивные решения. Во многих случаях они представляют собой обычные вертикальные стены, ограничивающие тоннельную часть. Однако и для таких простых конструктивных решений возможно продуманное архитектурное оформление. Зачастую прибегают к декорированию торцевой части разделительной стены, реже – к оформлению порталных граней над проезжей частью до-

ли особое цветовое оформление, освещение и подсветку. Кроме этого, предусмотрены более сложные формы порталных стен в наклонном исполнении, а также башни, возвышающиеся высоко над поверхностью земли, в которых размещены лестничные спуски для входа в притоннельные технические помещения, размещенные над проезжей частью тоннеля. Все это создало единую композицию, придавшую тоннелю особую индивидуальность (рис. 10).

Другим примером могут служить тоннели на новом участке автомобильной дороги между городами Брессаноне и Варна в северной Италии. Порталы одного из тоннелей имеют сложные криволинейные формы, которые удачно вписаны в существующий холмистый



Рис. 7. Порталы тоннелей, оформленные с применением национальных культурных и исторических традиций: а – тоннель Клейтон в Англии; б – тоннель Галашань в Тибете; в – тоннель Эрланг в Китае; г – тоннель Джайпур в Индии (из онлайн-энциклопедии «Википедия»)

рые тоннельные порталы в Китае (рис. 7б, в). Насыщенная цветовая палитра, традиционные архитектурные элементы, например, имитация пагод и др. придает подобным порталам особую выразительность и привлекательность. Яркое насыщенное цветовое оформление характерно и для некоторых тоннелей в Индии (рис. 7г). В них находят отражение богатые индийские традиции.

В крепких скальных грунтах, когда откосы припортальной выемки достаточно устойчивы и имеют значительную крутизну, вместо классических порталных конструкций устраивают оголовки – выступающие из плоскости лобового откоса усиленные звенья тоннельной обделки. Торцевая поверхность оголовка

может быть вертикальной или иметь наклон, совпадающий с уклоном горного склона. Оголовки горных тоннелей также могут иметь привлекательное внешнее оформление, а некоторые из них – неординарные архитектурные решения (рис. 8).

Порталы городских тоннелей, по сравнению с горными тоннелями, имеют достаточно простые конструктивные решения. Во многих случаях они представляют собой обычные вертикальные стены, ограничивающие тоннельную часть. Однако и для таких простых конструктивных решений возможно продуманное архитектурное оформление. Зачастую прибегают к декорированию торцевой части разделительной стены, реже – к оформлению порталных граней над проезжей частью до-

роги (рис. 9). Здесь могут находить решения, связанные с отделкой конструкции природным или искусственным материалом, различным фактурным или цветовым оформлением, приданием участку разделительной стены ступенчатой или скругленной формы и др.

В некоторых случаях прибегают к более неординарным конструктивным и архитектурным решениям для порталов городских тоннелей. Одним из таких примеров может служить тоннель Вотервью Коннекшн в Окленде. Здесь для тоннеля, являющегося частью крупнейшего инфраструктурного проекта в Новой Зеландии, были отдельно продуманы и реализованы порталы, в архитектурном оформлении которых примени-



Рис. 8. Оголовки горных тоннелей (https://ru.pinterest.com/pin/not-openedopened-march-26-2013--653936808398368833/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera)

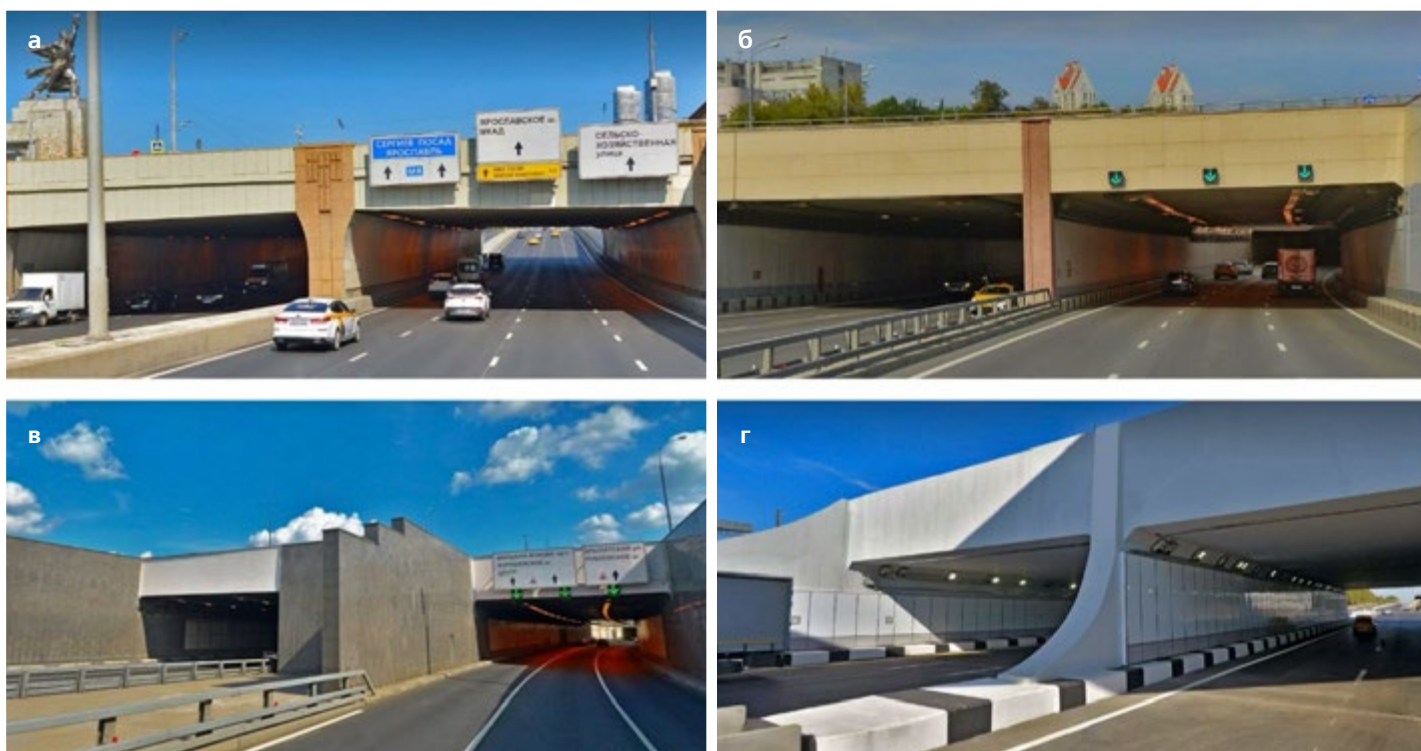


Рис. 9. Порталы московских тоннелей: а – тоннель на Проспекте Мира; б – тоннель на ул. Народного Ополчения; в – Северо-Западный тоннель; г – тоннель под МКАД (из поисково-информационной картографической службы «Яндекс Карты»)

шийся городской пейзаж. Работая над проектом, инженеры и архитекторы исходили из следующих принципов: обеспечение удобной транспортной связи между Брессаноне и Варной, минимальное воздействие на окружающую среду, объединение всех инженерных сооружений (тоннелей, подпорных стен, шумозащитных экранов, вентиляционных труб и т. д.) единой архитектурной концепцией. Порталы тоннелей были задуманы как большие выразительные фигуры, вздымающиеся вверх из земли своими длинными козырьками. В соответствии с архитектурной

концепцией порталы являются своеобразными воротами, разделяющими наземное и подземное пространство и обеспечивающими комфортный въезд в тоннель.

Рампы. Рамповые участки, обеспечивающие подъезд к тоннелю или выезд из него, также, как и порталы, являются важными объектами, способными подчеркнуть архитектурную выразительность тоннельного перехода. Открытые рамповые участки характерны для тоннелей, имеющих вогнутый продольный профиль. К ним относятся городские и подводные тоннели. Архитектур-

ное оформление рамповых участков не менее важно для формирования у водителя положительных эстетических эмоций.

Средствами архитектурной выразительности для рамповых участков также, как и для порталов, могут выступать форма, цвет, текстура и др. Их совокупное применение при оформлении рамп может создавать интересный и запоминающийся внешний вид, сопровождающий водителей и пассажиров при въезде или выезде из тоннеля на достаточно протяженном отрезке пути. В силу конструктивных особенностей рамп, можно



Рис. 10. Портал тоннеля Вотервью Коннекшн в Окленде (https://ru.pinterest.com/pin/439171401160206902/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera)

композиции. Помимо навесов на рамповых участках, в предпортальных зонах, могут устанавливаться рамные конструкции, формирующие ритм и выполняющие исключительно эстетические функции (рис. 13).

Для рамповых участков городских тоннелей зачастую прибегают к архитектурному оформлению торцевых участков парапетных стен. Такое оформление наиболее актуально для тоннелей, строящихся в сложившихся исторических районах городской застройки. Декорирование торцевых участков возможно выполнять различными конструктивными формами в составе самих стенок или отдельными конструктивными элементами в виде тумб, устанавливаемых спереди (рис. 14). В качестве материалов тумб могут быть использованы бетон, фибробетон, железобетон, природный камень. Внешний вид элементов архитектурного оформления

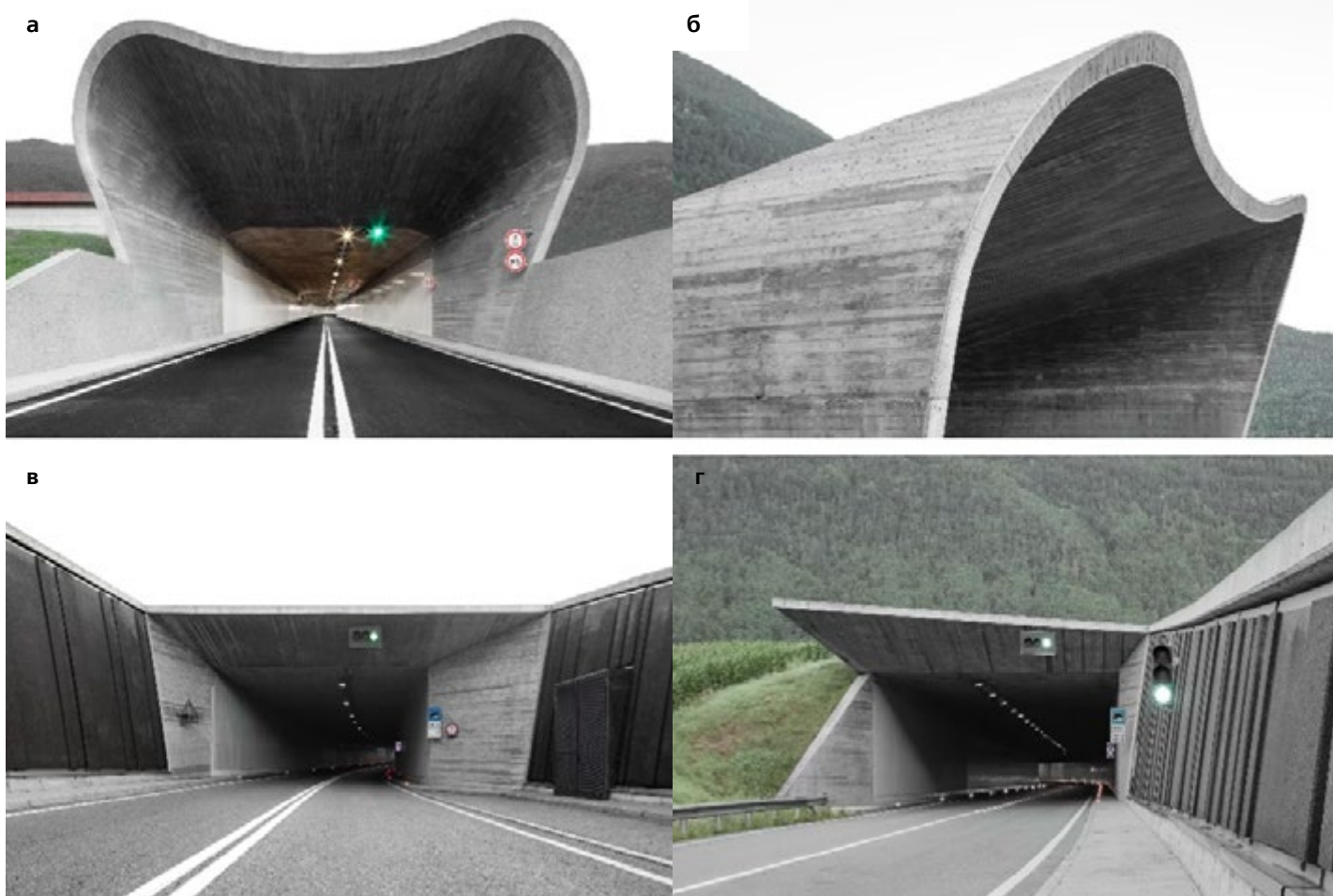


Рис. 11. Порталы тоннелей на автодороге Брессаноне-Варна в Италии (https://ru.pinterest.com/pin/105834659984489437/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera)

по-разному формировать внешний вид, учитывая в оформлении положение основных несущих конструкций, например, вертикальных или слабонаклонных стен, систем распорных элементов, участков нависающих перекрытий и др. (рис. 12).

В некоторых случаях прибегают к накры-

тию рамповых участков навесами, выполняющими функции защиты от осадков или шума, а также служащими для световой адаптации при въезде в тоннель. Подобные конструкции, помимо своего прямого функционального предназначения, могут быть использованы в качестве элементов общей архитектурной

подчиняют окружающему городскому ландшафту или, наоборот, создают доминанту в существующем пейзаже.

Тоннель. Все вышеописанные примеры архитектурного оформления справедливы для открытых частей тоннельных переходов. Однако большая часть пути через них

происходит внутри тоннельной части, которая характеризуется стесненным пространством, ограниченным контурами тоннельной обделки. Проезд по тоннельной части в первую очередь должен быть безопасным, что обеспечивается не только специальными техническими системами и средствами, но и возможностью комфортного и спокойного проезда.

Большой вклад в комфортные условия передвижения по тоннельным переходам вносит приятный эстетический вид внутреннего подземного пространства сооружения. Основными средствами обеспечения эстетической выразительности подземного пространства является его архитектурное освещение, отделка и облицовка основных несущих конструкций. Не следует путать архитектурное освещение тоннеля с эксплуатационным. Системы эксплуатационного освещения тоннелей обеспечивают необходимую расчетную освещенность подземного пространства для безопасного движения транспортных средств. Архитектурное же освещение напрямую не влияет на безопасность, однако дополняет и повышает эстетическую выразительность внутренних тоннельных конструкций.

Сочетание современного архитектурного освещения с интересным архитектурным оформлением внутри тоннеля дает удивительные результаты. В качестве примера можно привести комплекс автотранспортных тоннелей на автомобильной дороге Седра Ланкен (Южное звено) в Стокгольме. Основная автомагистраль, проходящая в тоннеле длиной 4,5 км под городскими районами, имеет несколько промежуточных выездов и въездов. В местах разветвления тоннелей оформлены красивые внутритоннельные порталные части, оснащенные современной светодиодной подсветкой, которая имеет несколько режимов работы и может меняться в течение дня (рис. 15). Такое архитектурное решение делает этот тоннель особым среди подобных городских подземных автомагистралей и вызывает у жителей, а также у туристов только положительные эмоции.

Интересное световое оформление выполнено в норвежском горном тоннеле Лердал, являющемся самым длинным автодорожным тоннелем в мире протяженностью 24,5 км. Тоннель по длине разделен на четыре отрезка, между которыми размещены три зоны отдыха в виде искусственных гротов с увеличенными размерами поперечного сечения. Места отдыха позволяют выполнить остановку за пределами проезжей части и оснащены красивой необычной подсветкой сводов тоннеля сочетанием теплых и холодных оттенков (рис. 16а).

Похожая архитектурная подсветка реа-



Рис. 12. Рамповые участки городских тоннелей: а – тоннель под заповедником Сен-Жармен-ан-Ле в Париже; б – тоннель в Баку; в – тоннель на ул. Нижняя Масловка в Москве; г – тоннель на Дмитровском шоссе в Москве (из поисково-информационных картографических служб «Яндекс Карты» и «Google Карты»)



Рис. 13. Рамповые участки тоннелей с предпортальными навесами: а – Кутузовский тоннель в Москве; б – подводный тоннель Гонконг – Макао; в – тоннель Абекура в Японии; г – подводный тоннель Кросс-Харбор в Гонконге (из онлайн-энциклопедии «Википедия»)



Рис. 14. Рамповые тумбы автотранспортных тоннелей (из поисково-информационной картографической службы «Яндекс Карты»)

лизована в новом датском подводном автомобильном тоннеле Эстурой на Фарерских островах. Особенностью данного тоннеля является наличие кольцевой развязки, где и установлена красивая многоцветная подсветка (рис. 16б). При въезде на кольцо с разных направлений водителей встречает синяя, желтая или зеленая подсветка тоннельной выработки, которая способствует усилению видимости кольцевой развязки, а также улучшает эмоциональное состояние человека. Вокруг центральной опорной конструкции установлена скульптура, изображающая танцующих традиционный фарерский танец людей. Если при проезде по тоннелю настроить радио на определенную частоту, то можно услышать и специально написанную для этого танца музыку.

Крупнейший в мире китайский тоннель Чжуннаньшань через горный массив Цинлинь в провинции Шэньси протяженностью 18 км имеет по длине несколько зон для отдыха с имитацией неба и деревьев. Искусственное небо выполнено с применением специальной подсветки свода тоннеля, на который проецируются световые облака (рис. 17а). Такое архитектурное решение направлено в первую очередь на снятие психологического и физического напряжения у водителей после продолжительной поездки в стесненном тоннельном пространстве.

Похожее решение было реализовано в подводном тоннеле Тайху длиной 10,8 км, проходящем под озером Тайху, восточнее Шанхая в Китае. Однако здесь, по сравнению с предыдущим примером, имитация неба выполнена не за счет подсветки, а с помощью длинного светодиодного экрана, смонтированного под перекрытием тоннеля (рис. 17б). Причем, помимо имитации неба, на данном экране имеется возможность добавлять различные плавно движущиеся объекты, например, облака или птиц, которые способствуют снижению монотонности проезда по тоннелю.

Особое освещение сводовой части тоннелей является не такой уж и большой редкостью для тоннелей Китая. Так, например, мягкая подсветка и проецируемые на потолок изображения на тему подводного мира являются своеобразной «изюминкой» тоннеля Хуанцзяцзи на скоростной автомагистрали Люпаньшуй – Вэйнин в провинции Гуйчжоу (рис. 17в).

Как правило в большинстве тоннелей мира оформление внутренних поверхностей сводов или плит перекрытия над проезжей частью выполняют с помощью различных цветовых решений. При этом возможно два принципиальных подхода: использование наиболее светлых цветов и, наоборот, применение наиболее темных. В первом случае это связано с попыткой создания яркого пространства, зрительно расширяя его за счет светлых цветовых тонов. Очень часто для этого используют светло-серые и белые оттенки цвета (рис. 18а). Однако практика эксплуатации таких тоннелей показывает, что с годами светлые потолочные поверхности тоннельных конструкций начинают постепенно тускнеть и покрываться сажей от выбросов выхлопных газов проезжающих автотранспортных средств. Поэтому периодически такие светлые поверхности требуют обновления.

Во втором случае, при использовании темных цветов, стараются визуально отделить и скрыть верхнюю часть тоннельного пространства. Темное пространство не воспринимается взглядом и это часто используют для скрытия в нем многочисленных тоннельных инженерных коммуникаций. В этом случае используют темно-серые оттенки цвета или чисто черный цвет (рис. 18б). Темное пространство долговременно не требует какого-либо обновления, однако имеет сильное визуальное воздействие, зрительно сужая или уменьшая объем.

Иногда помимо светлых или темных тонов потолочные поверхности окрашивают в голу-

бые оттенки цвета, которыми стараются имитировать небо, создавая внутри замкнутого тоннельного объема приближенную к поверхностным условиям атмосферу (рис. 18в).

Оформление стен тоннельной части может решаться по-разному. Следует отметить, что стены тоннелей имеют очень важное значение для безопасности движения и размещения инженерного оборудования. Находясь в постоянном поле зрения водителя, в отличие от тех же потолочных поверхностей, стены являются важными ориентирами при движении, особенно в протяженных тоннелях. Также очень часто вдоль стен тоннеля закладывают всевозможные инженерные коммуникации, в первую очередь электрические кабели и кабели связи, трубопроводы и сухотрубы.

Оформление стен тоннелей выполняют с помощью специальной облицовки, устанавливаемой, как правило, на уровне движения автотранспорта на высоту около 2,5–4,0 м. Тоннельная облицовка представляет собой систему навесных панелей, монтируемых на консольных элементах на некотором отnose от стены. Зазор между облицовочными панелями и стеной используют для скрытного размещения инженерных коммуникаций. В качестве облицовки применяют современные прочные, износостойчивые и пожаробезопасные материалы, такие как фиброцемент, стеклофибробетон, стеклокомпозит, керамику или металлокерамику. Бесспорным преимуществом облицовочных панелей является возможность их легкой и эффективной очистки от сезонного загрязнения.

Облицовочные панели могут иметь различную форму, в том числе и криволинейную, а также быть окрашенными в большое разнообразие цветов. Эти свойства крайне важны для воплощения различных архитектурных концепций в отношении транспортной зоны тоннелей. Использование контрастных горизонтальных или вертикальных полос, или иных графических изображений на облицовочных панелях может использоваться для



Рис. 15. Архитектурное оформление тоннеля на автомагистрали Седра Ланкен в Стокгольме (https://en.wikipedia.org/wiki/S%C3%B6dra_L%C3%A4nken)



Рис. 16. Архитектурное освещение в тоннелях: а – грот тоннеля Лердал; б – кольцевая развязка в тоннеле Эстурой (https://raduga-light.com/ru/news/10-samykh-interesnykh-tonneley-s-iskusstvennym-osveshcheniem/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera)



Рис. 17. Архитектурное освещение тоннелей в Китае: а – тоннель Чжуннаньшань; б – тоннель Тайху; в – тоннель Хуанцзяуцзи (https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/271828/pub_679b3038d6518e145fdda25d_679b3039d6518e145fdda2b9/scale_1200)



Рис. 18. Тоннели со светлым (а), темным (б) и цветным (в) оформлением потолочной части (https://avatars.mds.yandex.net/get-altay/11410105/2a000001916053e289b9bdc3916a1d95a3596/XXL_height)



Рис. 19. Облицовка стен тоннелей: а – цветные фиброцементные панели; б – однотонные металлокерамические панели; в – керамическая плитка; г – фактурная стена из монолитного железобетона (https://avatars.mds.yandex.net/i?id=f71242b59b9866822c60f8bc474a0c4d_l-5175466-images-thumbs&ref=rim&n=13&w=1280&h=720)

цовке, оповещающих водителя о всевозможных ситуациях, способствуют повышению безопасности движения по тоннелю (рис. 19а, б).

Помимо облицовочных панелей оформление стен тоннеля может быть выполнено с применением железобетонных или фибробетонных панелей несъемной опалубки, фактурного монолитного железобетона, керамической плитки и др. (рис. 19в, г).

В некоторых случаях для улучшения внешнего вида тоннельной части достаточно особым образом обыграть внутренний контур тоннельной обделки, убрав, например, углы в конструкции тоннеля. Для этого можно их скруглить, постараться создать плавную криволинейную линию внутреннего очертания с добавлением пологого свода и изогнутых поверхностей стен. Этот нехитрый прием действенным образом способствует повышению привлекательности тоннеля, несмотря на сопутствующее увеличение стоимости строительства подобной обделки. Наглядным примером может служить автотранспортный тоннель на Московском проспекте в г. Самаре (рис. 20).

Притоннельные сооружения. Все наземные здания и сооружения тоннельных переходов, такие как павильоны притоннельных сооружений, вентиляционные башни и киоски,

эвакуационные выходы, диспетчерские пункты и др. являются объектами, подверженными архитектурному влиянию и осмыслению как снаружи, так и внутри. Очень часто к ним применяют те же правила архитектурного проектирования, как и к любому зданию или объекту капитального строительства. Именно через них возможно дополнительно усилить архитектурную выразительность того или иного тоннеля, привнести определенную «изюминку» в проект (рис. 21).

Особое внимание во многих случаях уде-

ляют внешнему виду тоннельных вентиляционных киосков, башен или павильонов. Они являются теми объектами, для которых архитектор может создать интересный внешний облик, воплотить свои оригинальные идеи и взгляды, органично вписать его в окружающую городскую среду или наоборот выделить на фоне однообразного природного или городского пейзажа. Интересны и разнообразны в этом отношении вентиляционные киоски тоннелей и станционных комплексов метрополитена. При проектировании им ста-



Рис. 20. Автотранспортный тоннель на Московском проспекте в г. Самаре (<https://novayasamara.ru/wp-content/uploads/2016/04/img-20150622155046-177.jpg>)

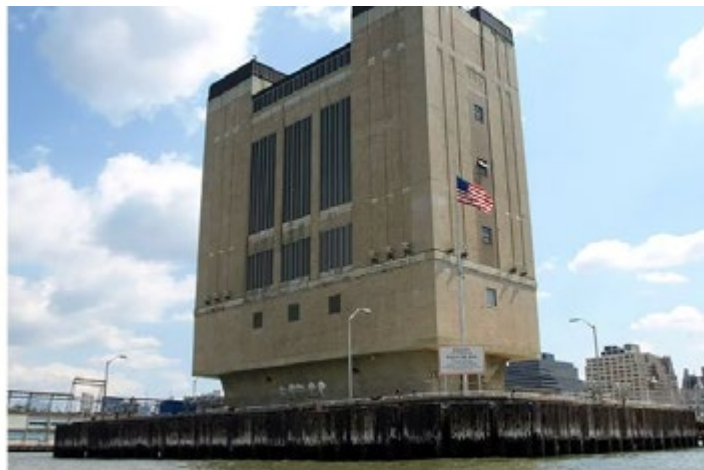


Рис. 21. Здания инженерной инфраструктуры тоннелей: а – центральный диспетчерский пункт транспортной развязки, расположенный над Гагаринским тоннелем в Москве (<https://i.archi.ru/i/22175.jpg>); б – вентиляционная башня тоннеля Холланд в Нью-Йорке (<https://files.structurae.net/files/photos/5256/2014-10-03/dsc04517.jpg>)



Рис. 22. Вентиляционные киоски метрополитена (из географической онлайн-энциклопедии «Викимания»)

раются придать особую форму, применяют интересные цветовые решения, стилизуют под прилегающую застройку или выдерживают в едином архитектурном стиле со станционными комплексами (рис. 22). Архитектурный подход к формированию внешнего вида этих сооружений всегда является более выигрышным по сравнению с обычным инженерным, а в некоторых случаях, при комплексном подходе к благоустройству прилегающей территории, может способствовать созданию особых точек притяжения в общественном пространстве.

Для автомобильных тоннелей такие решения также не являются исключением. Вентиляционные сооружения больших габаритных раз-

меров для крупных тоннелей вполне возможно сделать интересной доминантой прилегающего природного ландшафта. Одним из ярких примеров этому может служить комплекс инженерных сооружений тоннеля Мон-Терри в Швейцарии. Здесь, несмотря на выбранный архитектурный стиль брутализм, характеризующийся массивными угловатыми урбанистическими конструкциями, удалось удачно создать контрастное восприятие объекта на фоне спокойного природного ландшафта, работая с крупногабаритными конструкциями вентиляционных киосков (рис. 23).

Другой интересный пример оформления вентиляционных киосков можно увидеть в комплексе притоннельных сооружений

подводного автомобильного тоннеля Вельзер (Velsertunnel) в Нидерландах. Тоннель является одним из старейших в стране, строительство которого было начато еще в 1941 г., но остановлено из-за Второй мировой войны. Лишь в 1952 г. строительство тоннеля было возобновлено, а в 1957 г. появилось здание с вентиляционными башнями по проекту голландского архитектора Дирка Розенбурга (рис. 24).

Вентиляционные башни тоннеля считаются архитектурной достопримечательностью Нидерландов и входят в перечень национальных памятников. Комплекс притоннельных сооружений имеет всего восемь башен. Четыре из них, высотой 16,2 м, предназначены для забора свежего воздуха с подачей его в тоннель, а еще четыре, высотой 31,2 м, служат для отвода загрязненного воздуха из тоннеля. Внутренний диаметр башен составляет 3,1 м. В верхней части башни имеют уширение и 50 горизонтальных отверстий, выполненных из квадратных железобетонных труб.

Как уже было сказано, первостепенным при проектировании и строительстве тоннельных переходов, конечно, является их функциональность и конструктивно-технологические требования. Архитектура играет второстепенную, вспомогательную роль, однако она не менее важна, даже если на первый взгляд кажется излишней. В наибольшей степени архитектурному влиянию подвержены автомобильные тоннели, так как именно они, в отличие от железнодорожных, подвластны визуальному восприятию со стороны водителей и пассажиров. Но даже в железнодорожных тоннелях возможен учет архитектуры, например, применительно к порталам. Это можно вполне наглядно увидеть при сравнении железнодорожных тоннельных порталов, выполненных без учета эстетических функций и, напротив, с применением различных архитектурных решений. Из рис. 25 видно, что портал, построенный исходя из функциональ-

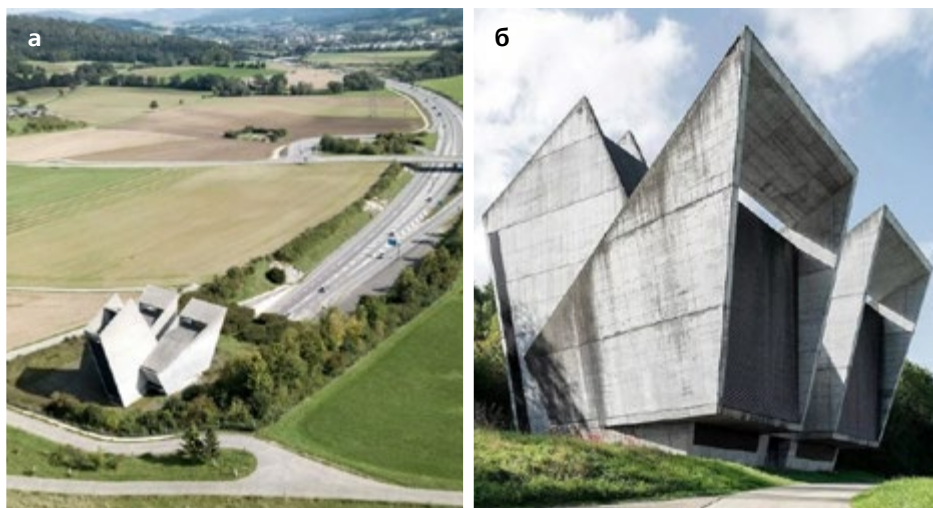


Рис. 23. Вентиляционные киоски тоннеля Мон-Терри на автомагистрали А16 в Швейцарии (<https://i.pinimg.com/originals/47/35/73/473573b385e4748a769f79b4f985b210.jpg?nli=t>)



Рис. 24. Комплекс притоннельных сооружений тоннеля Вельзер в Нидерландах: а – общий вид; б – вентиляционные отверстия в башнях (из онлайн-энциклопедии «Википедия»)



Рис. 25. Порталы железнодорожных тоннелей: а – портал тоннеля Сейкан в Японии; б – портал тоннеля на дороге Адлер – Красная Поляна в России (<https://edition.cnn.com/travel/gallery/great-tunnels/index.html>)

но-конструктивных соображений, выглядит безлико и не притягивает взгляд, в то же время архитектурный портал привлекает внимание и вызывает интерес.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что в тоннельных переходах, также как и в мостовых сооружениях, архитектура играет важную роль, обеспечивая визуальную привлекательность, снижая психологическое напряжение при въезде в тоннель, а также повышая безопасность проезда по нему. Отвечая на ранее поставленный в статье вопрос, можно с уверенностью констатировать тот факт, что помимо утилитарных свойств в тоннельных переходах необходимо учитывать и эстетические качества.

Архитектура транспортных сооружений – мостов и тоннелей, имеет свои особенности. Здесь необходимо следовать общим правилам архитектурного проектирования, но с учетом специфики линейных транспортных объектов. Архитектура в подземных сооружениях во многом подчинена конструктивно-технологическим требованиям. При разработке проектных решений, для получения наилучшего результата, необходима изначальная коллаборация инженера и архитектора, их совместное командное взаимодействие с самого начала проекта и до полного его завершения. Инженер всегда следует практическим целям. Эффективное решение инженерных задач не всегда бывает красивым. Задача архитектора предложить единую концепцию транспортного сооружения и помочь инженеру в эстетическом улучшении окончательных объемно-планировочных и конструктивных решений, не привнося трудноразрешимых проблем в общее дело. Очень важно, чтобы единую идею поддерживал заказчик и принимал непосредственное участие в процессе реализации объекта: был погруженным во все концептуальные и проектные решения, вел обсуждение и дискуссию по проблемным вопросам, имел полную информацию о предполагаемых расходах на осуществление проекта и направлял команду на реализацию единого инженерно-архитектурного замысла.

Ключевые слова

Автомобильный тоннель, портал тоннеля, рампа, архитектура, архитектурное оформление тоннеля, эстетика строительных конструкций, архитектурная выразительность.

Road tunnel, tunnel portal, ramp, architecture, architectural design of a tunnel, aesthetics of building structures, architectural expressiveness.

Для связи с автором

Сула Николай Анатольевич
nsoula@mail.ru

ЭКОЛОГИЧНОСТЬ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ

ENVIRONMENTAL COMPATIBILITY, ENERGY EFFICIENCY AND RELIABILITY OF DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF ROAD TUNNELS: NEW APPROACHES



В. В. Космин,
академик РАТ, Москва
V. V. Kosmin,
Academician of RAT, Moscow



О. А. Космина,
независимый эксперт-логист, Москва
O. A. Kosmina,
logistician, Moscow

На основе международного опыта, обобщенного постоянно действующей Международной ассоциацией дорожных конгрессов, анализируются основные энергопотребляющие системы: вентиляция, освещение и кондиционирование. Рассматриваются современные подходы к их оптимизации, включая переход на LED-освещение, внедрение интеллектуальных систем управления, использование аэродинамических усовершенствований и возобновляемых источников энергии (геотермальных, солнечных). Особое внимание уделяется инновационным решениям, таким как цифровые двойники, автономные вентиляторы с аккумуляторами и системы мониторинга в реальном времени. Подчеркивается важность учета критериев жизненного цикла и энергоэффективности уже на стадии проектирования. Делается вывод о том, что комплексное внедрение предлагаемых мер позволяет достичь значительного снижения энергопотребления (до 45 %) и эксплуатационных затрат без ущерба для безопасности, обеспечивая долгосрочную устойчивость тоннельной инфраструктуры.

Based on the international experience summarized by the Permanent International Association of Road Congresses, the main energy-consuming systems are analysed: ventilation, lighting and air conditioning. Modern approaches to their optimization are considered, including the transition to LED lighting, the introduction of intelligent control systems, the use of aerodynamic improvements and renewable energy sources (geothermal, solar). Special attention is paid to innovative solutions such as digital twins, autonomous fans with batteries and real-time monitoring systems. The importance of taking into account the criteria of the life cycle and energy efficiency is emphasized already at the design stage. It is concluded that the integrated implementation of the proposed measures makes it possible to achieve a significant reduction in energy consumption (up to 45 %) and operating costs without compromising safety, ensuring the long-term sustainability of the tunnel infrastructure.

Современные дорожные операторы и администрации, управляющие инфраструктурой, сталкиваются с рядом вызовов:

- необходимость балансировать между безопасностью, стоимостью и устойчивостью;
- интеграция новых технологий в существующие объекты;
- адаптация к меняющимся климатическим и регуляторным требованиям;
- управление старением инфраструктуры при сохранении эффективности.

Проводимые постоянно действующей Международной ассоциацией дорожных конгрессов (PIARC) исследования в области современных экологических проблем и надежности эксплуатации применительно к автомобильным тоннелям [1] позволили, в частности, собрать информацию в отношении энергоснабжения, энергопотребления, применяемого оборудования, безопасности в течение жизненного цикла, влияния различных эксплуатационных фаз, отчетности и измерения эксплуатационного статуса

и энергопотребления. При этом, учитывая, что автомобильные тоннели – сложные и дорогостоящие объекты со сроком службы обычно более 80 лет, разрабатываемая PIARC концепция устойчивой и энергоэффективной их эксплуатации позволила выявить новейшие эффективные разработки, отра-

женные в экспертной информации относительно разных стран на всех континентах (рис. 1).

Проблемы

Практика показывает, что энергоэффективность, экологичность и надежность экс-

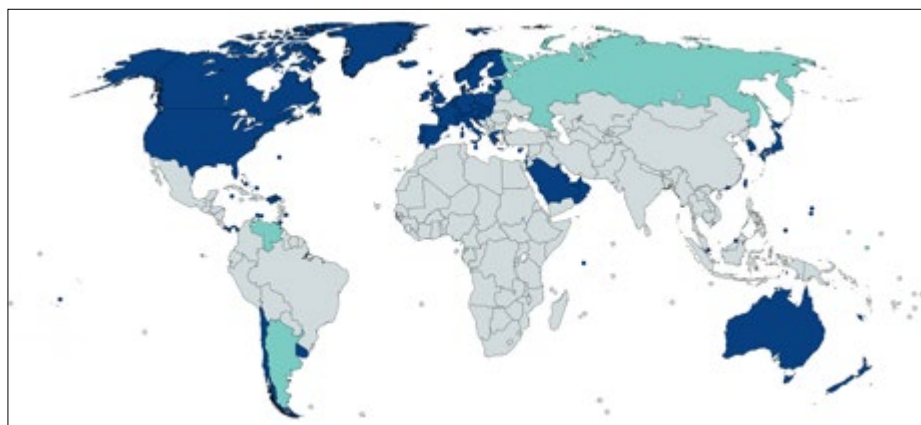


Рис. 1. Страны, охваченные исследованиями PIARC в области энергоэффективности, экологичности и надежности эксплуатации автомобильных тоннелей [1]

плутации автодорожных тоннелей в большинстве случаев определяются в основном эксплуатационными системами и их потребностью в электроэнергии. Есть общее понимание, что большое количество энергии для обеспечения безопасного движения через автодорожные тоннели требуют следующие системы:

- механическая вентиляция тоннеля, специально разработанная для разбавления выбросов от транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания. Это особенно актуально для длинных тоннелей, для тоннелей двустороннего движения, тоннелей со значительными продольными уклонами, участков с интенсивным движением, сопровождающимся образованием пробок, тоннели с высокой долей большегрузного транспорта;
- освещение тоннеля, играющее ключевую роль в предотвращении аварий ввиду поддержания достаточного уровня освещённости. В частности, дополнительное освещение у порталов тоннеля обеспечивает надлежащий переход между естественным наружным освещением и внутренним освещением тоннеля, что требует значительной доли электроэнергии во время эксплуатации;
- кондиционирование воздуха в технических помещениях, обеспечивающее долговечность и надлежащую работу оборудования, особенно того, которое способствует безопасности тоннеля.

срок службы, а также улучшение управления системой освещения. В отношении кондиционирования воздуха в технических помещениях оптимизации возможны с помощью использования возобновляемых источников охлаждения.

Пути решения

Эффективное проектирование

Исследования показывают, что важно разрабатывать эффективные решения уже на ранних стадиях проектирования, до проведения тендеров. Примером такого рода является тоннель Фемарнбельт (Fehmarnbelt Fixed Link Tunnel) между Данией и Германией, где в тендерной документации применяли соответствующие критерии надёжности. Техническое задание тендера устанавливало критерий, вознаграждающий участника, спроектировавшего системы освещения и кондиционирования воздуха с наименьшим энергопотреблением, обязав тем самым участников искать очень эффективные решения уже на стадии разработки тендерной документации.

Разработана концепция «энергетической маркировки» для автодорожных тоннелей аналогично маркировке бытовой техники. Цель – дать операторам и регуляторам наглядный инструмент для оценки и сравнения энергопотребления и эффективности разных тоннелей. Маркировка учитывает:

- стимулировать обмен лучшими практиками между операторами.

Энергосберегающее освещение

Энергосберегающие конструкции затенения у входов в тоннель применены в проектах тоннелей в Китае: через реку Янцзы в Шанхае (рис. 2) и на скоростной дороге Цзянлуо. Внедрением специально разработанных конструкций затенения у входа в тоннель удалось снизить количество энергии, необходимой для его освещения.

Применение этих мер позволило получить в том числе и другие положительные побочные эффекты, такие как защита от снега, звукоизоляция и снижение шума, при одновременном обеспечении безопасности водителей и комфортных условий движения.

Система солнечных оптоволокон, впервые применённая в тоннеле Корбуло (Нидерланды), направляет в него солнечный свет через оптоволоконные кабели, имитируя звёздное небо и помогая водителям адаптироваться к освещённости внутри тоннеля. В результате удалось достичь снижения энергопотребления на 10–20 %. Указанная система обладает потенциалом минимального обслуживания, устойчива и автоматически регулирует уровень освещённости в зависимости от солнечного света снаружи. Большинство компонентов размещены на крыше

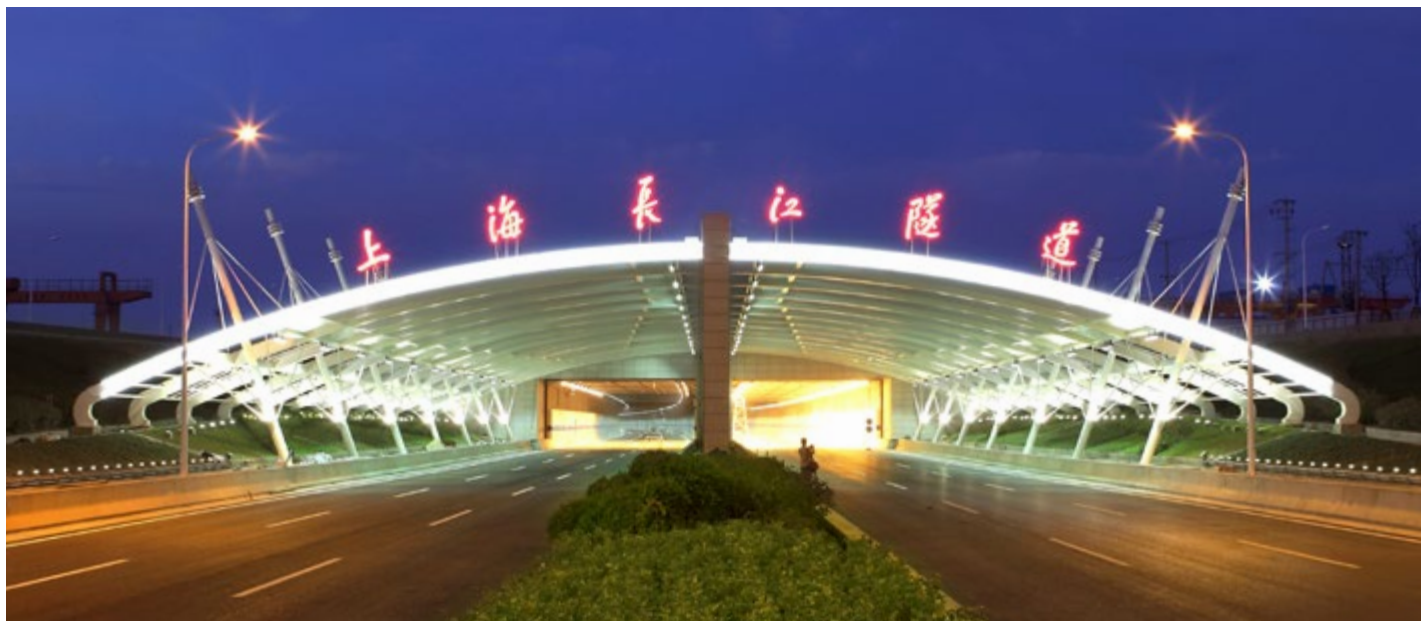


Рис. 2. Навес от солнечного излучения с затеняющими панелями у въезда в шанхайский тоннель через реку Янцзы (КНР) [1]

Опыт показывает, что в отношении вентиляции тоннеля снижение энергопотребления может быть достигнуто с помощью более эффективной продольной вентиляции и более эффективного общего управления системой вентиляции. Что касается освещения, улучшения возможны посредством внедрения специальных покрытий стен с повышенной отражательной способностью (устройство белой фарфоровой облицовки), использование светодиодных светильников, более энергоэффективных и имеющих большой

- общее годовое энергопотребление;
- удельное потребление на километр или на миллион проехавших автомобилей;
- долю возобновляемой энергии;
- эффективность систем вентиляции, освещения и безопасности.

Указанный подход позволяет:

- выявлять «тоннели-аутсайдеры» с высоким энергопотреблением;
- устанавливать целевые показатели эффективности;
- отслеживать прогресс после внедрения

тоннеля, исключая закрытие тоннеля во время обслуживания.

Известен пример применения системы управления освещением и перехода на LED-технологии (светодиодные светильники) на затраты жизненного цикла системы освещения тоннеля в Финляндии взамен освещения на основе натриевых ламп высокого давления (рис. 3).

Операционные меры по управлению системами освещения в тоннелях с низкой интенсивностью движения опираются



Рис. 3. Распределение LED-освещения в тоннеле [1]



Рис. 4. Блок струйных вентиляторов в тоннеле [1]

на датчики для обнаружения транспортных средств и пешеходов, проследующих через тоннель. Измерение сигнала обнаружения связано с системой управления, отвечающей за регулирование освещенности тоннеля. В результате автоматически обеспечиваются требуемая яркость дорожного покрытия при проезде транспортных средств и снижение освещенности, когда в тоннеле нет транспорта. В тоннелях с низкой интенсивностью движения и периодическими интервалами потока такая система призвана способствовать дальнейшему снижению энергопотребления в дополнение к экономии энергии, достигаемой в результате перехода на LED.

С целью обеспечить максимально длительный срок службы корпуса светильника целесообразно использовать высококачественную нержавеющую сталь. Тогда светильники могут служить до 30 лет. Кроме того, материал в дальнейшем пригоден для повторной переработки. Рациональная конструкция корпуса позволяет обеспечить долгосрочное его использование при замене внутренних компонентов.

Внедрение LED-технологии в системы освещения автодорожных тоннелей привело к разработке более совершенных систем управления освещением по сравнению с теми, что традиционно использовались с технологией на основе натриевых ламп высокого давления. Новые системы регулировки яркости позволяют адаптировать освещенность в тоннеле к реальным потребностям в любой момент в зависимости от уровня наружного освещения, интенсивности движения и погодных условий.

Снижение энергопотребления в тоннеле возможно с помощью оптимизированной очистки ламп и стен на основе технологий искусственного интеллекта. Регулярная очистка светильников и стен тоннелей необходима для поддержания оптимальной освещенности и снижения энергопотребления.

Традиционные методы очистки часто бывают трудоёмкими и не всегда обеспечивают равномерное качество. На базе искусственного интеллекта (ИИ) оптимизируют график и процесс очистки. ИИ анализирует данные о накоплении грязи, изменении освещенности и энергопотреблении, чтобы определить оптимальное время и объём работ по очистке. Система также может управлять роботизированными устройствами для очистки, обеспечивая:

- равномерное удаление загрязнений;
- минимизацию ручного труда;
- сокращение времени закрытия движения в тоннеле;
- поддержание высокой отражательной способности стен и эффективности светильников.

Результаты показывают, что такой подход может снизить энергопотребление на освещение на 10–15 %.

Вентиляция

Для повышения тяги воздуха внутри тоннеля применяют конструкции шумоглушителей

для струйных вентиляторов со специально профилированными элементами с помощью дефлекторов с оптимизированными аэродинамическими формами и регулировкой лопаток, позволяющую снизить потери тяги из-за аэродинамического трения. В результате подбором надлежащей аэродинамической конструкции удастся эффективно компенсировать обычные недостатки технологии дефлекторов, такие как повышенный шум и энергопотребление. Это повышает эффективность электроснабжения, распределения воздуха и, следовательно, общую энергоэффективность и устойчивость. Предлагаются решения по продольной вентиляции тоннелей на основе численной гидродинамики [2]. Возможна оптимизация тяги до 50 % в зависимости от типа поперечного сечения тоннеля, расположения струйных вентиляторов и продольного расстояния между ними (рис. 4).

Выявилось, что на основе обновления эксплуатационных систем внутри тоннеля в швейцарских автодорожных тоннелях потенциальное снижение энергопотребления для типичного тоннеля может составить 25–45 %, если будут приняты определённые меры.

Решающее значение для безопасной эвакуации имеет эффективный контроль дыма при пожарах в тоннелях, зависящий от типа используемой системы вентиляции – продольной или поперечной. Например, французские нормативы требуют достаточного воздушного потока для предотвращения обратного распространения дыма.

Перспективной является пассивная оптимизация продольных и поперечных систем вентиляции. Исследования с проведением экспериментов и компьютерного моделирования на масштабированных моделях тоннелей показали, что пассивные конструктивные улучшения могут повысить производительность системы. Для продольных систем потолочные барьеры снизили критическую скорость для контроля дыма до 40 %. В поперечных системах использование широких прямоугольных заслонок снизило требуемую скорость сдерживания дыма на 80 % по сравнению с квадратными заслонками. При этом оптимизация улучшает контроль дыма при одновременном снижении энергопотребления.

Спецификой обладает управление вентиляторами и энергопотреблением в тоннелях с двусторонним движением. Норвежская дорожная администрация провела исследование работы струйных вентиляторов в таких тоннелях. Цель – оптимизировать управление вентиляторами для снижения энергопотребления без ущерба для безопасности. В результате установлено следующее:

- в двусторонних тоннелях можно динамически регулировать направление и мощность вентиляторов в зависимости от направления и интенсивности движения, концентрации выхлопных газов и от погодных условий (ветер, температура);
- использование датчиков качества воздуха и алгоритмов прогнозирования позволяет

включать вентиляторы только при необходимости, снижать их мощность в периоды низкой нагрузки и устранить избыточную вентиляцию.

Результаты показали, что такая оптимизация может снизить энергопотребление системы вентиляции на 20–30 % при сохранении требуемого уровня безопасности.

В отношении энергоэффективности и в связи с пожароопасностью представляют интерес автономные системы и накопление энергии. К их числу относятся, в частности, струйные вентиляторы с батарейным питанием. Используя батарею вместо силового кабеля, вентилятор можно запустить в случае крупного пожара или отключения электроэнергии. Такой вентилятор без кабеля оснащён автономным источником питания от батареи, защищённой от огня или ударов, через преобразователь. В 2022 г. были реализованы и протестированы четыре соответствующих пилотных проекта. В результате стоимость монтажа вентилятора снизилась на 15 %, а эксплуатационные расходы, как ожидается, также сократятся.

Другой пример – применение централизованных аккумуляторных накопителей. Предполагается использование региональной сети распределения энергии через частные линии электропередачи среднего напряжения, для подключения дорожной инфраструктуры, включая электростанции и объекты энергопотребления.

Проектирование надежных технических помещений для кондиционирования воздуха в длинном тоннеле предусматривает поддержку в них заданной температуры с помощью контура охлаждённой воды, проходящего через тоннель в вентиляционном канале свежего воздуха, расположенном над полосами движения. Такую воду готовят у каждого портала тоннеля с помощью первичного водяного контура, питаемого тремя охлаждающими теплообменниками «воздух вода». Для экономии на дополнительных установках кондиционирования воздуха охлаждение внешних технических помещений обеспечивается также подключением к первичному водяному контуру дополнительных теплообменников «вода вода».

Вторичные контуры охлаждённой воды затем подают охлаждающую жидкость к вентиляторным доводчикам кондиционированного воздуха, вентиляционным установкам и кондиционерам «воздух вода». Наконец, для снижения мощности нагревательных батарей устанавливают вентиляционные установки с теплообменниками-колесами. Система регулирования, управляемая полевыми контроллерами и центральными серверами кондиционирования (по одному у каждого портала тоннеля), позволяет дистанционно выбирать заданную температуру в технических помещениях, выполнять сброс нагрузки при необходимости и лучше управлять энергопотреблением.

Еще одно направление – использование геотермальной энергии грунтовых вод в тоннелях. Во многих тоннелях грунтовую

воду нередко собирают в дренажных трубах, транспортируют из тоннеля и сбрасывают (без использования) в ближайший водоприёмник. При благоприятных геологических условиях грунтовые воды имеют практически постоянный объёмный расход и температуру. В таких условиях эту воду можно использовать как возобновляемый и устойчивый источник энергии для регулирования температуры сооружений вблизи порталов тоннелей. Одно из возможных применений – охлаждение и обогрев эксплуатационных зданий и дорожных участков у порталов тоннеля.

Концепция прямого пассивного геотермального регулирования температуры дорожного покрытия предполагает, что дренажная вода тоннеля циркулирует непосредственно по трубам, встроенным в дорожное покрытие, без использования теплового насоса и без добавления антифриза. Это особенно экономичное и устойчивое решение. Главное преимущество гидрогеотермальных тоннельных систем перед технологиями с абсорберами состоит в том, что ими можно дооборудовать существующие тоннели.

С использованием воды из противопожарной системы и грунтовой воды возможно охлаждение технических помещений в тоннелях. Такой подход можно рассматривать как ключевую стратегию максимизации эксплуатационной эффективности и снижения энергопотребления. В тоннеле в немецких Альпах реализован инновационный подход с использованием противопожарной и грунтовой воды в качестве охлаждающих жидкостей. Фактически речь идет об использовании существующей системы противопожарной защиты и возобновляемых местных ресурсов взамен традиционных хладагентов с высоким потенциалом влияния на глобальное потепление в сплит-системах кондиционирования.

Цифровое моделирование

Представляет интерес цифровая модель-двойник для оптимизации вентиляции в существующих тоннелях. Такой опыт имеется в Австралии. Модель объединяет:

- трехмерную геометрию тоннеля;
- данные о движении транспорта (интенсивность, состав потока);
- параметры работы вентиляционного оборудования;
- метеорологические данные;
- показатели качества воздуха (CO , NO_x , видимость).

С помощью модели можно:

- имитировать разные сценарии вентиляции;
- прогнозировать зоны застоя воздуха и накопления газов;
- оптимизировать расположение и режим работы вентиляторов;
- тестировать меры по повышению энергоэффективности без риска для безопасности.

Полученные результаты обеспечивают:

- снижение энергопотребления системы вентиляции на 15–25 %;
- улучшение качества воздуха в критических

зонах;

- сокращение времени реагирования на аварийные ситуации.

С целью учесть все экологические и экономические последствия от производства до утилизации вентиляционного и осветительного оборудования в автодорожных тоннелях проведена оценка их жизненного цикла. Анализировались:

- энергопотребление в период эксплуатации;
- выбросы CO₂ при производстве и транспортировке оборудования;
- возможность вторичной переработки материалов;
- затраты на обслуживание и замену.

Выводы

Полученные ключевые выводы состоят в следующем: LED-светильники формируют за жизненный цикл значительно меньший углеродный след по сравнению с натриевыми лампами – даже с учётом производства и утилизации. Вентиляционные системы с регулируемой скоростью окупаются за пять-семь лет вследствие снижения энергопотребления. Использование местных материалов и привлечение местных поставщиков сокращает транспортные выбросы на 10–20 %. Из этого вытекают следующие рекомендации:

- включать критерии жизненного цикла в тендерную документацию;
- отдавать приоритет оборудованию с высокой энергоэффективностью и возможностью переработки;
- планировать замену оборудования с учётом не только начальных затрат, но и совокупной стоимости жизненного цикла.

Чтобы снизить энергопотребление, целесообразно, как показал опыт французской дорожной администрации в крупном автодорожном тоннеле, применять систему мониторинга энергопотребления. Система собирает данные в режиме реального времени по освещению (по участкам тоннеля), вентиляции (по группам вентиляторов), системам безопасности (камеры, датчики, связь), вспомогательному оборудованию (насосы, обогрев порталов). Поступающие в ходе мониторинга данные агрегируются и анализируются с помощью программного обеспечения для выявления пиковых нагрузок и «скрытых» потерь, сравнения фактического потребления с нормативами, планирования профилактического обслуживания, оценки эффективности внедряемых мер.

Получены следующие результаты:

- обнаружено, что 30 % энергопотребления приходится на ночное время при низкой интенсивности движения; это стало основанием для оптимизации графиков работы систем;
- выявлено, что старые трансформаторы тратят до 15 % энергии на нагрев, что является основанием для их своевременной замены;
- уже первый год эксплуатации системы мониторинг позволяет снизить энергопотребление на 12 % только на основе оперативных корректировок.

Из изложенного вытекают следующие выводы:

- непрерывный мониторинг – ключевой инструмент для управления энергопотреблением;
- даже небольшие корректировки на основе данных мониторинга могут дать значительный эффект;
- система мониторинга должна быть интегрирована в общую систему управления тоннелем.

В целом из проведённого анализа следует, что устойчивость эксплуатации тоннелей – это многогранная задача, требующая комплексного подхода на всех этапах жизненного цикла: от проектирования и строительства до эксплуатации и модернизации. При этом ключевые выводы состоят в следующем:

- энергоэффективность – центральный элемент устойчивой эксплуатации автодорожных тоннелей. Оптимизация систем вентиляции, освещения и кондиционирования позволяет снизить энергопотребление на 20–45 % без ущерба для безопасности;
- возобновляемые источники энергии (солнечная, гидро-, геотермальная) дают возможность сократить зависимость от централизованных сетей и снизить углеродный след;
- цифровые технологии (цифровые двойники, ИИ, мониторинг в реальном времени) обеспечивают точное управление ресурсами и прогнозирование потребностей;
- оценка жизненного цикла помогает принимать обоснованные решения с учётом долгосрочных экологических и экономических последствий.

Одним из ключевых направлений проводимых исследований PIARC является разработка стандартизированных критериев для оценки устойчивости проектирования, строительства и эксплуатации автодорожных тоннелей. В результате появится возможность унифицировать подходы к проектированию и эксплуатации; облегчить сравнение показателей разных объектов; стимулировать внедрение лучших практик. Особое внимание при этом предстоит уделить:

- системам управления энергопотреблением, включая динамическое регулирование вентиляции и освещения на основе данных в реальном времени;
- интеграции возобновляемых источников энергии с оценкой технической и экономической целесообразности для разных типов тоннелей;
- цифровым решениям – таким как цифровые двойники и ИИ для прогнозирования нагрузок и оптимизации обслуживания.

При этом в настоящее время остаётся приоритетом непрерывное совершенствование систем безопасности. Устойчивая эксплуатация не должна идти в ущерб надёжности и готовности к чрезвычайным ситуациям. Напротив, энергоэффективные решения должны усиливать безопасность посредством:

- резервирования критически важных систем;
- использования автономных источников питания (аккумуляторы, генераторы);

- внедрения интеллектуальных систем мониторинга для раннего выявления угроз.

Однако устойчивая эксплуатация – это не только технические меры. Необходимы:

- изменения культуры управления с акцентом на долгосрочную эффективность, а не краткосрочную экономию;
- междисциплинарное сотрудничество между инженерами, экологами, экономистами и операторами.

Заключение

В целом экспертами PIARC предусматривается [3]:

- внедрять комплексные системы мониторинга энергопотребления для выявления резервов оптимизации;
- применять оценку жизненного цикла при выборе оборудования и материалов;
- интегрировать возобновляемые источники энергии там, где это технически и экономически оправдано;
- развивать цифровые инструменты (математические двойники, ИИ) для прогнозирования и управления ресурсами;
- стандартизировать систему измерителей устойчивости для сравнения и тиражирования лучших практик;
- обеспечивать баланс между безопасностью и энергоэффективностью на всех этапах эксплуатации.

Указанные меры позволят не только снизить экологический след и операционные затраты, но и повысить надёжность и долговечность автодорожных тоннелей как критически важной инфраструктуры XXI века.

Ключевые слова

Автодорожные тоннели, безопасность, возобновляемые источники энергии, надёжность эксплуатации, оценка жизненного цикла, система вентиляции, цифровой двойник, экологичность, энергоэффективность, LED-освещение.

Digital twin, energy efficiency, environmental friendliness, LED lighting, life cycle assessment, operational reliability, renewable energy sources, road tunnels, safety, ventilation system.

Список литературы

1. Sustainability of tunnel operation: new approaches. A PIARC briefing note and collection of case studies. Technical committee 4.4 Tunnels. <https://www.piarc.org/ressources/publications/source/4/1399cb2f-47231-2025R03EN-Sustainability-Tunnel-Operation-New-Approches-PIARC-Briefing-Note-Case-Studies.pdf>
2. Конюхов Д. С. Решения по продольной вентиляции тоннелей на основе численной гидродинамики // Метро и тоннели. 2025. № 2. С. 31–34.
3. Strategic plan 2024–2027 PIARC. <https://www.piarc.org/en/PIARC-Association-Roads-and-Road-Transportation/strategic-plan>

Для связи с авторами

Космин Владимир Витальевич
vvcosmin@mail.ru



ЭВОЛЮЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫВОДА ТПМК С ТРАССЫ В КОТЛОВАН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА



А. А. Долев,

к. т. н., главный специалист отдела научно-технического сопровождения строительства АО «Мосинжпроект»



Д. С. Конюхов,

д. т. н., проф., руководитель отдела научно-технического сопровождения строительства АО «Мосинжпроект»



Ю. А. Таратынов,

руководитель отдела по механизированной проходке и специальным видам работ

Строительство Московского метрополитена идет высокими темпами – в 2021 г. было открыто 12 станций, в 2022 г. – 69 станций, в 2023 г. – 14 станций, в 2024 г. – 11 станций и в 2025 г. – 4 станции [1]. При этом уже построено почти 200 км перегонных тоннелей метрополитена. Столь масштабное строительство, длящееся уже много лет, позволило выявить ключевые технологии строительства и развивать их эволюционным способом. Одним из таких положительных изменений является способ ввода/вывода тоннелепроходческих комплексов (ТПМК) из котлованов на трассу проходки тоннелей. Несмотря на кажущуюся простоту, это мероприятие является очень ответственным и непростым решением, имеющим высокие риски затопления котлована грунтовыми водами или грунтовой пульпой с большими финансовыми и временными издержками.

Характерные проблемы и пути их решения

Город Москва расположен на флювиогляциальной равнине (Русской равнине) на значительном удалении от мест горообразования. Грунтовая толща сложена продуктами выветривания – песками различной крупности, супесями, суглинками и глинами. Переслоение грунтовых разностей пестрое, зачастую носит линзовидный характер. Подстилающими породами служат известняки, как правило кавернозные и трещиноватые, водонасыщенные по кавернам и трещинам (рис. 1).

В общем, грунтовые воды приурочены также к слоям песков различной крупности, иногда с глинистым заполнителем в межзерновом пространстве. Данный тип грунтов, это необходимо отметить, является самым сложным в отношении строительства подземных сооружений, т. к. обладает плавунными «свойствами» и при наличии вибрационных воздействий любого типа теряет свои структурные свойства и превращается в текучую водогрунтовую суспензию, способную проникать в любые щели, обладающую напором и при неблагоприятных условиях способную затопить, например, котлован или вертикальный ствол (рис. 2).

Грунтовые условия Московского региона осложняются еще и тем, что может быть несколько слоев водонасыщенного песчаного грунта, разделенных прослоями глины, сле-

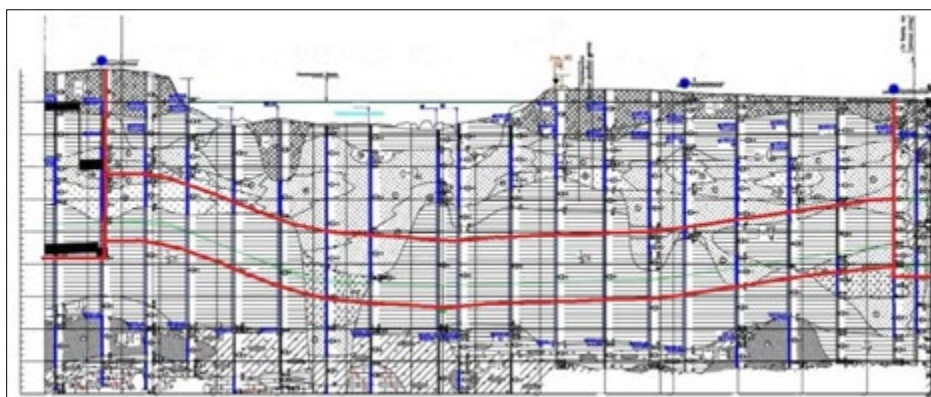


Рис. 1. Типовое строение грунтовой толщи Московского региона

довательно, образуются несколько горизонтов грунтовых вод, каждый из которых имеет свой напорный характер. Станции Московского метрополитена обычно сооружают открытым способом в котлованах, глубина которых достигает 30 м. Приемные и стартовые котлованы, как следует из их названий, кроме строительства новых станций служат еще и для обеспечения вывода ТПМК с трассы в котлован (рис. 3).

При выводе щита в котлован рабочий (режущий) орган ТПМК разрушает стену ограждения котлована, далее за ним следует оболочка щита, но ее диаметр на 3–4 см меньше диаметра рабочего органа [2]. Далее за оболочкой щита следует сборная тоннель-

ная отделка, ее диаметр еще на несколько сантиметров меньше оболочки щита (рис. 4).

Таким образом, в прорезанное рабочим органом отверстие в ограждении котлована продвигается оболочка щита, а затем и устраивается обделка тоннеля, которая имеет меньший диаметр [3]. В грунтовом массиве весь этот зазор заполняется вязким тампонажным раствором, который препятствует всевозможным деформациям и схватывается в среднем в течение суток и набирает прочность в течение нескольких дней. При наличии грунтовых вод или плавунных грунтов в этот щелевой зазор (до набора необходимой прочности тампонажным раствором) под давлением вышележащих сло-

ев грунта проникает внешний плавунный грунт или просто грунтовая вода. Следствием такого положения вещей является аварийная ситуация. Чтобы избежать проникновения грунтовых вод в котлован, наиболее явным решением является правильно подобранная очередность работ: сначала устраивают ограждение котлована, затем прямо сквозь него и через не разработанный котлован проходит ТПМК, а уже после затвердевания тампонажного материала (который как раз и инъецируется из самого ТПМК) следуют работы по экскавации грунта со строительномонтажными работами по устройству станции (или притоннельных сооружений) метрополитена. Ранее такая простая схема была наиболее предпочтительной. Однако недостатки подобной очередности работ, такие как бросовые работы (рис. 5), связанные с демонтажем возведенной внутри котлована тоннельной обделкой, или отсутствии гибкости в очередности работ [4] по устройству ограждения котлована, проходки и экскавации грунта, привели к предпочтению других технологий вывода ТПМК.

Начинает получать большее распространение применение пригрузов. Вначале их устраивали исключительно по технологии jet-grouting. Но позже, с накоплением отрицательного опыта устройства колонн закрепленного грунта и плохо закрепленного грунта между ними в мелком водонасыщенном песке, предпочтение отдавалось нескольким относительно коротким отрезкам траншейной «стены в грунте» или таковой из буросекущихся свай (БСС), устроенным вплотную к ограждению котлована на участке вывода ТПМК (рис. 6).

Пригруз выполнен из неармированных БСС, ограждение котлована – из армированных через одну БСС.

Пригруз служил для создания широкого (в продольном разрезе) массива закрепленного грунта, при прохождении через который у ТПМК хватало времени и расстояния для схватывания и набора необходимой прочности заобделочного тампонажного раствора. Вследствие этого зазор между гранью реза ротора в ограждающей конструкции, оболочкой щита и тоннельной обделкой оказывался надежно запечатанным и полностью перекрывал поступление грунтовых вод и плавунных грунтов в котлован. Дополнительно пригруз, сам обладая структурной прочностью, воспринимал часть нагрузки от окружающего грунта и грунтовой воды на конструкцию ограждения котлована, ослабленную резом при вводе ТПМК и принимающую дополнительное горизонтальное воздействие от прижатия ТПМК к конструкции ограждения в процессе ее прорезания.

При этом необходимо учитывать, что ТПМК крайне нежелательно разрушать конструкции с металлическим армированием по причине высокой вероятности заклинивания и повреждения внутренних механизмов. Из-за этого в местах ввода/вывода ТПМК от армирования в пригрузах вообще отказываются, а армирование в ограждаю-



Рис. 2. Итоги противоаварийных мероприятий при прорыве плавуну в месте выхода ТПМК с трассы тоннеля в котлован



Рис. 3. Вывод ТПМК с трассы тоннеля, рядом имеется уже проложенный тоннель

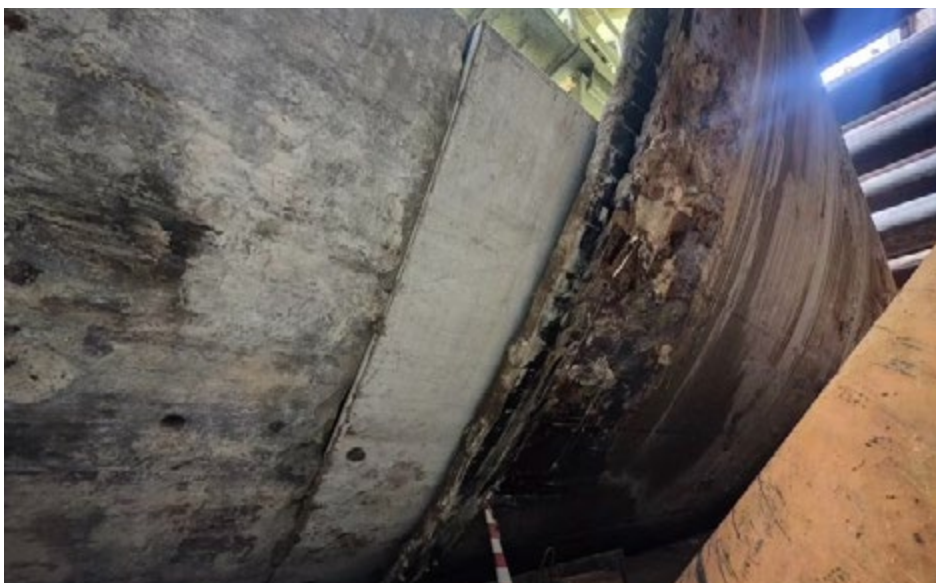


Рис. 4. Диаметр внешней обделки тоннеля меньше диаметра оболочки щита



Рис. 5. Бросовые работы по разбору тоннельной обделки при разработке котлована

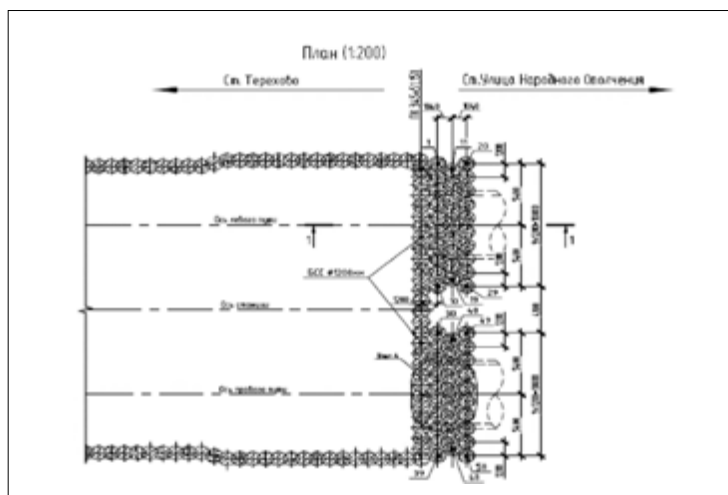


Рис. 6. План ограждения котлована и пригруза, выполненные из БСС

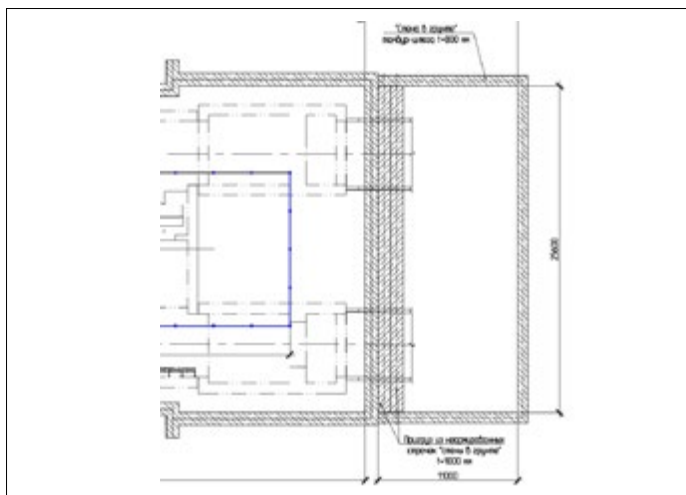


Рис. 7. Использование «тамбур-шлюза» (она же форкамера) для вывода ТПМК с трассы в котлован

щих конструкциях устраивают из композитной арматуры, способной к хрупкому излому. А композитная арматура, как мы знаем, имеет модуль деформации отличный от бетона (в меньшую сторону) и поэтому ее использование не позволяет упрочнить бетонную матрицу в той мере, в какой позволяет это сделать сталь. Да и стоимость композитной арматуры (за 1 п. м) значительно больше, чем таковая у стали.

Одновременно с этим начинают применять конструкцию «тамбур-шлюз», иначе называемую «форкамера» (рис. 7).

Перед местом врезки ТПМК устраивается П-образная конструкция, подобная ограждению котлована. ТПМК проходит через первую линию «стены в грунте» и пока продвигается и начинает проходить непосредственно сквозь ограждение котлована, тампонажный раствор в зазоре первой линии уже схватился и набирает прочность, достаточную для бло-

кировки движения грунтовой воды в сторону котлована. Остается только откачать замкнутый объем грунтовой воды из форкамеры. Здесь имеется нюанс: ограждение форкамеры должно заходить вниз в слой водоупора, если же такого слоя нет, или он слишком глубоко, то или устраивают сплошное дно по технологии jet-grouting, или от форкамеры отказываются. В основном форкамеру применяют совместно с пригрузом, выполненным непосредственно перед ограждением котлована. Одновременно стараются устраивать водопонижение за пределами котлована. Такой комплексный подход позволяет добиться максимальной надежности вывода ТПМК с трассы в котлован, пусть и с некоторым перестрахованием, но в любом случае, как показывает практический опыт, в конечном случае использование подобных мероприятий всегда обходится намного дешевле, чем исправление масштабных аварийных

ситуаций, связанных с прорывом в котлован воды и водогрунтовой пульпы.

В настоящее время получают все большее распространение использование так называемых «внутренних пригрузов», представляющих собой находящиеся внутри котлована временные конструкции из железобетона, заполненные внутри послойно уплотненным песком или забученные легкобетонными блоками. Внутренние пригрузки омоноличено примыкают к ограждению котлована в местах вывода ТПМК. Смысл этой конструкции в том, что ТПМК, прорезая ограждение, попадает не в открытый котлован, а в замкнутый объем внутреннего пригруза. Т. е. грунтовые воды и пульпа все равно не проникают в открытый котлован, оставаясь в замкнутом объеме внутреннего пригруза. Также своей массивностью внутренний пригруз воспринимает и противодействует горизонтальному усилию от давления ТПМК на ограждение



Рис. 8. Внутренний пригруз во время эксплуатации и демонтажа

котлована. После использования внутренний пригруз разбирают и вывозят на полигон как отходы строительства (рис. 8).

В ряде зарубежных практик получило распространение [5, 6] модифицирование внутреннего пригруза, заключающееся в изготовлении пригруза из металлоконструкций. Это позволило сделать пригруз инвентарным и многоразовым, сборно-разборным (рис. 9 и 10).

Из металлических частей собирают трубчатую конструкцию с внутренним диаметром, соответствующим наружному диаметру реза рабочего органа ТПМК, герметично соединяют ее с внутренней частью ограждения котлована в месте вывода щита и заполняют эту металлоконструкцию водой.

Далее, при прорезании конструкции ограждения котлована ТПМК попадает в эту герметичную емкость, уже заполненную водой. При продвижении ТПМК к глухой части камеры, вода срабатывает. Сам ТПМК полностью выходит в эту камеру и тампонажным раствором запечатывает зазор между резом и тоннельной обделкой. После схватывания тампонажного раствора эту инвентарную металлическую камеру разбирают и по частям перевозят на базу хранения, где она, после очистки и консервационных работ, хранится до следующего применения.

Подобные инвентарные камеры многократного применения рекомендуется использовать и на объектах строительства Московского метрополитена. Преимущества их применения очевидны:

- снижение стоимости вследствие исключения бросовых работ по сооружению, разрушению и утилизации бетона и железобетона при использовании одноразовых железобетонных внутренних пригрузов;
- снижение стоимости вследствие отказа

от наружных пригрузов и форкамер, отпадает необходимость в объемах этих работ;

- снижение стоимости вследствие многократного использования одних и тех же металлоконструкций (наличия оборачиваемости);
- при повсеместном использовании подобной инвентарной камеры быстро набирается опыт использования, а также причины возможных аварийных ситуаций достаточно ограничены и, соответственно, легче подготовиться к нештатным ситуациям, что гарантирует снижение временных и финансовых затрат на их ликвидацию.

Однако следует отметить и некоторые недостатки применения инвентарных камер:

- на настоящем этапе развития инженерной мысли подобная инвентарная камера не подходит для применения при старте ТПМК (его вывода из котлована на трассу);
- применение инвентарной камеры внесет коррективы в сложившиеся материально-технические взаимоотношения подрядчик – субподрядчик, что может негативно сказаться на уже выстроенных вертикальных и горизонтальных связях.

В другой работе [6] отмечается, что применение инвентарных металлоконструкций для вывода ТПМК с трассы возможно реализовать не только в котлован, но и даже в частично возведенную конструкцию станции (рис. 11). При этом укрупненная сборка частей металлоконструкций осуществлялась на дневной поверхности, на стройплощадке, а подавались элементы краном через технологический проем в дисках перекрытий при строительстве станции методом «сверху вниз». Использовались два крана: один – для опускания элементов, а второй (на гусеничном ходу) – для переноски их на место окончательного монтажа. Общая длина каме-

ры 14,5 м и внутренний диаметр 11 м. Прием ТПМК велся на глубине 15 м ниже УГВ в котловане глубиной 23 м.

Заполнение камеры производилось гравиом с прокачкой цементного раствора (в общем содержание цемента составляло примерно 5 %). После проверки на герметичность осуществлялось введение ТПМК в полость камеры. При этом в режиме реального времени в ней корректировалось давление воды. Для снижения рисков в конце работ через клапаны для прокачки бентонитового раствора вводилось ограниченное количество гидроактивной смолы. Последнее уложенное ТПМК кольцо, уже внутри камеры, для простоты демонтажа и увеличения оборачиваемости металлоконструкции, также было металлическим.

Отмечается общая надежность подобного решения, необходимость 24-часового отдыха на последнем кольце после закачки гидроактивной смолы, которая, в свою очередь, закачивалась после закачки проектного объема обычного тампонажного раствора.

Все возникшие нюансы по движению ТПМК перед, вовремя и после прохождения ограждения котлована были решены различными технологическими приемами.

Отмечается, что выбор в пользу установки гидроизолированной многоразовой металлоконструкции внутри станции вместо пригруза (например, по технологии jet-grouting) или других средств для омоноличивания грунта оказался наилучшим решением. Это позволило безопасно ввести ТПМК внутрь станции без дополнительных осадков на дневной поверхности и перетащить на другую часть котлована; кроме того, это позволило соблюсти высокие стандарты качества работ в полном соответствии с графиком производства работ по проекту.



Рис. 9. Инвентарный сборно-разборный металлический контейнер для приемки ТПМК



Рис. 10. Вскрытие и разборка инвентарного металлического контейнера после захода ТПМК и омоноличивания входного зазора тампонажным раствором

Выводы

Использование ТПМК и глубоких котлованов при строительстве объектов метрополитена в Москве происходит в подавляющем большинстве в условиях наличия напорных грунтовых вод и/или мелкопесчаных водонасыщенных грунтов со свойствами плывунов.

В этих условиях вывод ТПМК с трассы в котлован сопряжен с рядом трудностей и рисков, чреватых если не потерей всего котлована, то объемными восстановительными работами.

Для того чтобы свести к минимуму риски затопления, применяют ряд технологических приемов.

Применение указанных технологических приемов имеет свое развитие, и это развитие проходило от простого (сквозной проход) к сложному (внешний пригруз + форкамера + водопонижение).

Существует технологическое решение ввода ТПМК в котлован, опробованное зарубежными организациями при реализации соответствующих проектов, которое позволяет существенно экономить материально-финансовые и временные ресурсы и заключается в использовании герметичной инвентарной металлической сборно-разборной камеры. ТПМК принимается в эту герметичную камеру, которая после запечатывания места ввода в ограждении котлована тампонажным раствором, разбирается и готова к многократному использованию на другой строительной площадке.

У каждого технологического приема имеются свои достоинства и недостатки, поэтому решение о целесообразности его использования должно приниматься комплексно, с учетом всех аспектов, таких как очередность работ, инженерно-геологические условия на каждой конкретной строительной площадке, наличие соответствующего оборудования и материально-технической базы, организационных ресурсов и возможности комплексного планирования.

Ключевые слова

Котлован, тоннелепроходческий механизированный комплекс (ТПМК), форкамера,



Рис. 11. Общий вид на полностью собранную металлоконструкцию для приема ТПМК (ниже УГВ)

jet-grouting, инвентарная металлическая камера, ввод ТПМК в котлован.

Список литературы

1. Алхимова Н. В., Мазеин С. В. Московский метрополитен: активное развитие продолжается. Метро и тоннели. № 4, 2024 г. С. 5–13.
2. Федунец Б. И., Бойко Ф. А. Строительство перегонных тоннелей современными ТПМК при проходке в сложных гидрогеологических условиях участков Митинско-Строгинской линии Московского метрополитена. Горный информационно-аналитический бюллетень № 7, 2008 г. с. 21–30. УДК: 69.035.4.
3. A suggested method for theoretical estimation of short-term strength of grout used in soft ground tunneling. Corur H., Gumus U., et al. Tunnelling into a Sustainable Future – Methods and Technologies. 2025, ISBN 978-1-032-90462-7. Pgs. 2658–2665.
4. Шестакова Е. Б., Казаку Е. В. Оптимальные

стратегии инвестирования в области транспортной инфраструктуры в условиях риска и неопределенности. Учебное пособие. М, 2023. 221 с. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. УДК: 330.322.

5. International Tunneling Symposium in Turkey: Challenges of Tunneling (TunnelTurkey, Istanbul). Istanbul, 02-03 December 2017.
6. L. Carlos, F. Grisel & G. Pini, Grand Paris Express line 16-1: Difficulties of mining under a rail junction into a steel bell Proceeding of the ITA-AITES World Tunnel Congress 2023 (WTC2023) 12–18 May, 2023, Athens, Greece.

Для связи с авторами

Долев Андрей Андреевич
dolevaa@mosinzhpriekt.ru
 Конохов Дмитрий Сергеевич
gidrotechnik@inbox.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЭКОЛОГИЧНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО ГЛУБОКИХ ТОННЕЛЕЙ И ИНЖИНИРИНГ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА» В КНР

25–27 октября 2025 г. в Китае в объединенном формате прошли два форума: Международная научно-техническая конференция по экологичному сооружению тоннелей и XXV Ежегодное совещание специалистов по инжинирингу подземного строительства Китайского общества гражданского строительства, на которые были приглашены ученые из России: члены Инженерной академии и Тоннельной ассоциации России.

Организаторы мероприятия: Школа гражданского строительства и архитектуры Аньхойского университета науки и технологий; базовая лаборатория горного инжиниринга в провинции Аньхой и национальная базовая лаборатория по предотвращению и уменьшению опасности стихийных бедствий при университете Тунцзи в Хэфее.



В первый день работы форума, на который собралось более 600 представителей мирового сообщества специалистов-подземщиков, были оглашены приветствия от провинции Аньхой (главы провинции, а также от руководителей строительно-инженерной группы, департамента образования, партийной организации Аньхойского университета науки и технологий), от вице-президента Российской инженерной академии, руководителей Китайского общества гражданского строительства и Китайского общества гражданских инженеров, корпорации China Coal Mine Construction Group.

Затем состоялась церемония подписания соглашения о создании Китайско-Российского центра инженерных исследований в области экологичного и безопасного освоения инфраструктуры территорий и предотвращения стихийных бедствий.

Далее на пленарном заседании были заслушаны следующие доклады приглашенных китайских и российских ученых по актуальным

вопросам подземного строительства.

1. Развитие технологий предотвращения и ликвидации последствий наводнений в подземных инженерных сетях и создание платформы обмена информацией «инженерная диагностика» (Ван Фумин; Университет Сунь Ятсена).
2. Последние достижения и размышления о строительстве тоннелей в моей стране (Чень Сеншен; Шеньчженьский университет).
3. Система опорных конструкций тоннелей, адаптированная к механизированному и интеллектуальному строительству (Хэ Чуан; Юго-Западный университет Цзяотун).
4. Разработка и создание высокопроизводительного оборудования и технологий для строительства автодорожных тоннелей и оснований дорожного полотна (Геннадий Кустарев; Российская инженерная академия (РИА)).
5. Ориентация на новое качество производительности: несколько передовых технологий для защиты окружающей среды и для энергосбережения в автодорожных тоннелях (Фэн Шо-

учжун; Аньхойский университет науки и технологий).

6. Комплексный маркшейдерско-геофизический мониторинг для геомеханического обеспечения щитовой тоннельной проходки (Сергей Мазеин; Тоннельная ассоциация России (ТАР), Академия горных наук (АГН)).
7. Нештатные ситуации в тоннелестроении: причины, предупреждение, ликвидация последствий (Валерий Меркин; ТАР, АГН).
8. Ключевые технологии строительства сверхпротяженных наклонных стволов в сложных горно-геологических условиях угольных разрезов (Ченг Хуа; Аньхойский университет науки и технологий).
9. Концепция конфигурации щитовой проходки ТБМ для строительства тоннеля гидроэлектростанции Яся (Чжу Вейбинь; Группа метро Гуанчжоу).
10. Большая модель PIONEER TUNNEL расширяет возможности инженерных строительных технологий. Новый прорыв (Ли Чжицзюнь; Китайское бюро железнодорожных тоннелей).



В. Ю. Поляков



С. В. Мазейн



В. Е. Меркин

11. Оценка риска безопасности тоннелей в скальных грунтах на основе машинного обучения и моделирования полевых условий (Хуан Хунвэй; Университет Тунцзи).

12. Ключевые технологии для теоретического обоснования проектирования и строительства большепролетных автодорожных тоннелей (Чень Цзеньсюнь; Чаньяньский университет).

13. Подготовка и инженерное применение нового противоскользкого тепло- и огнестойкого асфальтобетона для дорожных покрытий в тоннелях (У Шаопэн; Уханьский технологический университет).

14. Работа с большими деформациями метрового диапазона в 1000-метровом горном тоннеле угольной шахты. Пример угольной шахты Чжунцзи Ист, Хуайнань (Цю Венге; Юго-Западный университет Цзяотун).

15. Исследование механизма разрушения и стойкости к сульфатной коррозии отделки тоннелей в соляных пластах (Лю Синьжун; Чундинский университет).

16. Усовершенствованный метод интеллектуального анализа механических параметров окружающих пород в тоннелях с БВР (Ван; Юго-Западный университет Цзяотун).

Второй день работа форума была продолжена на тематических секциях, где было представлено 297 докладов, 109 из которых на китайском языке вошли как статьи в специальный двухтомный выпуск журнала *Modern Tunneling Technology*, Oct. 2025, Vol.62(S1). На самой представительной секции – Международном форуме ученых по науке и технологиям были заслушаны доклады ученых из России, Китая, Австралии, США, Испании по следующим темам.

1. Исследование механизма пустотности

бетона с заполнителем квадратного сечения из мегаматериала, применяющегося для снижения вибрации в тоннеле метрополитена (Хунг Хао; Университет Гуанчжоу, «Джон Кетрин», Австралия).

2. Новые математические модели в механике твердого тела (Василий Саурин; РИА, Институт механики РАН).

3. Подводный плавучий тоннель: новая сверхскоростная транспортная конструкция (Владимир Поляков; РИА, РУТ (МИИТ)).

4. Беспилотная добыча полезных ископаемых – неизбежный путь к устойчивому развитию (Хуа Го; организация содружества научных и промышленных исследований, Квинсленд, Австралия).

5. Безопасность и устойчивость тоннельного освещения: от конфликта к синергии (Антонио Пенья-Гарсия; Гранада, Испания).

6. Математическое моделирование взаимодействия сейсмических волн с полостями и включениями в структурно неоднородных геологических средах (Илья Никитин; РИА, Институт оптимизации проектирования РАН).

7. Прямое численное моделирование взаимодействия сейсмических волн с защитными барьерами (Василий Голубев; РИА, Институт оптимизации проектирования РАН).

8. Свайные фундаменты в мерзлых грунтах (Дмитрий Бакшеев; РИА, Норильская объединенная строительная компания).

9. Связанная модель упругопластического термоповреждения для Нано-Силика Инкорпорейтэд (Руди Джун; Калифорнийский университет в Лос-Анжелесе, США).

10. Высокоточное численное исследование нового тоннеля под существующим тоннелем на основе МКЭ (Чхо Хо; Университет Тунцзи).

11. Строительство инфраструктуры в районах деградации вечной мерзлоты на Дальнем Востоке и вдоль арктического побережья (Сергей Кудрявцев; РААСН, ДВГУПС).

12. Основы уникальной архитектуры и конструкций Санкт-Петербурга (Рашид Мангушев; РААСН, СПбГАСУ).

13. Реконструкция и ремонт фундаментов исторических зданий в условиях слабых грунтов для удовлетворения современных требований эксплуатации (Анатолий Осокин; СПбГАСУ).

14. Концепция подземного строительства легкого логистического тоннеля (Цай Аньфэй; Шанхай Тоннель Инжиниринг Компани).

15. Повышение производительности насосов с помощью новых гибридных вяжущих материалов при подземном строительстве (Ляньян Чжан; Университет Аризоны, США).

16. Исследование интеллектуального управления проходкой тоннеля большого диаметра щитами с гидропригрузом в сложных городских условиях (Юань Дацзюнь; Пекинский университет Цзяотун).

17. Исследование ключевых подземных технологий инженерных тоннелей на основе комплексной транспортной логистики (Вэнь Тун; Нинбоский технологический институт, Пекинский университет авиации и космонавтики).

18. Инженерные проблемы морских тоннелей и технические решения для морской геотехнической инженерии (Инхуэй Тянь; Мельбурнский университет, Австралия).

19. Ключевые технологии для продления срока службы существующих дорожных конструкций с целевыми показателями долговечности (Юй Синь; Чаншайский университет науки и технологий).



**Руководитель российской делегации
В. В. Саурин**



Участники российской делегации (слева направо: В. Голубев; Г. Кустарев, В. Поляков; В. Меркин, Р. Мангушев, А. Осокин, С. Кудрявцев, С. Мазеин, И. Никитин)

20. Исследование переноса газа в бентонитовом уплотнителе при условиях взаимодействия с твердым горючим материалом (Е Вэйминь; Университет Тунцзи).

Параллельно с Международным форумом ученых по науке и технологиям работали форумы по следующим направлениям:

- по безопасной эксплуатации тоннелей и подземных сооружений, технологиям энергосбережения и защиты окружающей среды, а также технологиям освоения подземного пространства;
- по технологиям проходческих комбайнов и щитовых ТБМ;
- по предотвращению рисков безопасности и повышению устойчивости при строительстве тоннелей и подземных сооружений;
- по управлению жизненным циклом и технологиям предотвращения и смягчения стихийных бедствий в тоннелях и подземном строительстве;
- по управлению строительством тоннелей и подземных сооружений и работе с молодежью;
- по технологиям горнодобывающего машиностроения;
- по устойчивым тоннелям и цифровым инновационным технологиям;
- по проектированию и образованию в тоннелестроении;
- по науке и технологиям снижения углеродного следа (для аспирантов в гражданском строительстве).

В выпуске журнала *Modern Tunneling Technology*, Oct. 2025, Vol.62(S1), представленном как сборник трудов конференции, стоит отметить следующие темы, интересные для международного и отечественного тоннелестроения:

лестроения:

- Исследование прогресса в технологии трассирования подземных вод в карстовых тоннелях (Ся Ян, Ли Цян, Ма Сяньчунь и др.);
- Оценка рисков и меры контроля на основе системной динамики при строительстве щитового тоннеля под группой свай моста (Су Исюань, Ли Юйфэн, Сяо Сюань и др.);
- Зоны влияния и строительные контрмеры при проходке щитовых тоннелей под железнодорожной насыпью в мягких грунтах (Лю Тэн, Чэн Шихао, Кон Дэхуа и др.);
- Анализ деформации поверхности земли при протяженной бестраншейной прокладке прямоугольных труб большого сечения (Чэнь Цзюнь, Ван Чжэньчжи, Ван Янь и др.);
- Исследование динамического влияния смещения соседнего тоннеля и безопасности существующих автомобильных тоннелей в сложной городской среде (Чжоу Хунгуан, Тао Лян);
- Система оценки автономной системы управления осями щитовой проходки и инженерная валидация (Цзян Хайбо, У Ди, Чжу Баолинь и др.);
- Исследование устойчивых систем крепи для глубоких тоннельных сооружений (Бай Дунфэн, Яо Хунчжи, Ши Баотун и др.);
- Обсуждение проблем расчета вентиляции в протяженных автомобильных тоннелях (Бай Юнь, Юань Сун, Цзэн Яньхуа);
- Анализ влияния проходки щитового тоннеля под существующим тоннелем метрополитена в карстовых породах (Сюй Цзэнчжи, Ма Жулун, Сюэ Ядун и др.);
- Анализ контроля деформаций при непрерывной проходке щитового тоннеля под сваями мостов и группами насыпей высокоскоростной железной дороги в мягких текуче-пластичных

грунтах (Ли Фэнтао, Ань Сюй);

- Анализ влияния разработки котлована на прилегающие существующие конструкции в пределах действующего транспортного узла в сложных грунтах (Ван Чжэньбин, И Ян, Чжан Шоужу и др.);
- Исследование проектной схемы тоннелей и станций метрополитена, проходящих над действующими тоннелями метро (Чжоу Бин, Ли Ган, Сюн Чжаохуэй и др.);
- Исследование и применение технологии быстрой очистки пыли от взрывных работ в тоннеле (Чжао Чжэньян).

В последний день пребывания в КНР приглашающая сторона, по дороге в аэропорт, организовала для российской делегации посещение в городе Нанкин университета и конструкторского бюро. Там представилась возможность увидеть условия учебы и проживания студентов и преподавателей, ознакомиться с учебной программой и с отдельными разработками, в том числе с современными образцами БПЛА для картографирования и средствами защиты.

В заключение необходимо отметить, что такой представительный Международный форум, затрагивающий многие научные и технические проблемы тоннелестроения, прошел на высочайшем уровне организации, с качественным синхронным русским, китайским и английским переводом. Заслушанные на форуме доклады и их обсуждения могут быть полезны российским специалистам-тоннельщикам, и, несомненно, придают новый импульс международному сотрудничеству в области науки, технологий и образования. Доклады представлены в Сборнике трудов конференции, с которым можно ознакомиться в офисе Тоннельной ассоциации России.

IV КИТАЙСКО-РОССИЙСКИЙ ФОРУМ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ В ОБЛАСТИ ГЕОТЕХНИКИ И ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

THE IV SINO-RUSSIAN FORUM OF YOUNG RESEARCHERS IN GEOTECHNICAL AND UNDERGROUND ENGINEERING

10-15 октября 2025 г. успешно прошел IV Китайско-Российский форум молодых ученых в области геотехники и подземного строительства, который собрал на одной площадке ведущих специалистов из Российской Федерации и Китайской Народной Республики. Мероприятие стало значимым шагом в развитии научного сотрудничества между двумя странами, объединив более 120 участников, среди которых были ученые, инженеры и представители отраслевых компаний.

From October 10 to 15, 2025, the 4th Sino-Russian Forum of Young Researchers in Geotechnical and Underground Engineering was successfully held, convening leading experts from Russia and China. The event became an important milestone in strengthening bilateral scientific cooperation, bringing together more than 120 participants – including researchers, engineers, and representatives of major industry organizations.



Организаторами форума выступили Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), китайский Северо-Восточный университет г. Шеньян, Тоннельная ассоциация России и Подразделение тоннелей и подземного строительства Китайского общества гражданских инженеров. Партнером конференции стало АО «НПО «Аконит».

Цели форума:

- обмен инновациями: обсуждение новейших научных разработок молодых специалистов в области геотехники и подземного строительства;
- решение отраслевых задач: анализ проблемных вопросов на всех этапах – от проектирования до эксплуатации подземных сооружений;
- укрепление сотрудничества: создание им-

пульса для развития научного, культурного и академического обмена между Россией и Китаем.

Форум охватил ключевые направления развития отрасли. Участники погрузились в широкий спектр тем – от фундаментальных основ механики грунтов и проектирования глубоких котлованов до передовых методов строительства в сложных климатических и инженерно-геологических условиях и интеллектуального планирования подземного пространства.

На форуме особое внимание уделили применению композитных материалов, внедрению систем интеллектуального мониторинга деформаций оснований зданий и сооружений и внедрению ресурсосберегающих технологий. Эти дискуссии объединили теорию

и реальные проекты в самых сложных условиях – от сейсмически активных зон до районов распространения многолетнемерзлых грунтов.

Первый день проведения деловой программы форума начался с торжественной церемонии открытия.

Мероприятие стало практической площадкой для формирования международных исследовательских команд и выработки конкретных технологических решений, о чем в своей приветственной речи заявил первый заместитель председателя правления Тоннельной ассоциации России Александр Борисович Лебедевков.

Ректор Северо-Восточного университета Фэн Сяотин поддержал эту мысль, подчеркнув, что совместные исследования и обмен

опытом являются катализатором инноваций в подземном строительстве.

И. о. директора Института пути, строительства и сооружений РУТ Таисия Васильевна Шепитко отметила устойчивую динамику развития форума: «Мы наблюдаем не только расширение географии участников, но и качественный рост научных дискуссий. Ключевая ценность заключается в том, что фундаментальные исследования молодых ученых находят прямое практическое применение в реальных проектах». По ее словам, форум вносит прямой вклад в технологическое развитие подземного строительства, повышение профессионального уровня специалистов и подготовку высококвалифицированных кадров для отрасли.

Научная программа форума была сфокусирована на решении критически важных задач, структурированных по следующим направлениям:

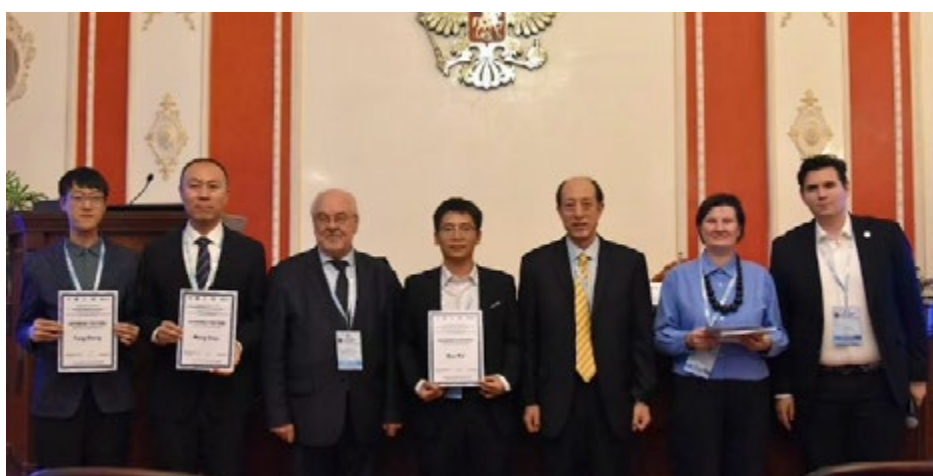
- Тоннели и подземные сооружения: от проектирования до строительства;
- Механика грунтов, фундаментостроение и геотехническая механика;
- Проектирование глубоких котлованов и оснований;
- Инновационные методы строительства и технологии освоения городского подземного пространства;
- Строительство в сложных климатических и инженерно-геологических условиях, включая районы распространения многолетнемерзлых грунтов;
- Пространственное планирование и трехмерное территориальное проектирование.

В рамках секционных заседаний особое внимание было уделено внедрению современных технологических решений для инфраструктурных проектов в сложных инженерно-геологических условиях.

Ведущие эксперты представили доклады, охватывающие широкий спектр актуальных задач геотехники и подземного строительства. В центре обсуждения находились вопросы градостроительной реновации и интегрированного проектирования высокоскоростных железных дорог и метрополитенов, решения прикладных задач геотехники на несогласованных сетях конечных элементов, анализа сейсмических воздействий на подземные сооружения, а также модельных испытаний и численного анализа тоннелей метро, пересекающих активные разломы. Представленные материалы отражали как современные научные подходы, так и прикладные результаты, ориентированные на повышение безопасности и надежности подземной инфраструктуры.

Форум стал значимой площадкой для взаимодействия профессионального сообщества двух стран, объединив научные и промышленные организации. Российскую сторону представили Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС), Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), Сибирский госу-





дарственный университет путей сообщения (СГУПС), Тоннельная ассоциация России, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), а также производственные компании ООО Институт «Мосинжпроект», АО «Нью Граунд», АО «ВНИИЖТ».

Китайскую делегацию сформировали ведущие образовательные и промышленные организации, включая Northeastern University (Северо-Восточный университет, г. Шэньян), Beijing Jiaotong University (Пекинский транспортный университет), Beijing University of Technology (Пекинский технологический университет), East China Jiaotong University (Восточно-Китайский университет Цзяотун), Southwest Jiaotong University (Юго-Западный университет Цзяотун), а также крупные отраслевые компании China Construction Third Engineering Bureau City Construction Group Co., Ltd. и Shenyang Metro Group Co., Ltd. Участие этих учреждений обеспечило высокий научно-практический уровень форума и укрепило российско-китайское сотрудничество в области подземного строительства и геотехники.

С докладами также выступили представители Российского университета транспорта РУТ (МИИТ). Университет представили заведующий кафедрой Мостов и тоннелей, профессор А. А. Пискунов; доцент Н. А. Телятников; а также аспиранты Института пути, строительства и сооружений А. А. Карпущина, И. А. Галабурда, А. М. Шарипов и А. Р. Попонин. Их выступления были посвящены актуальным направлениям развития транспортного строительства и отражали результаты фундаментальных и прикладных исследований, выполняемых в РУТ (МИИТ).

Торжественную церемонию закрытия форума провел профессор Северо-Восточного университета Чжао Вэнь, который от имени оргкомитета выразил благодарность всем участникам и объявил о решении провести пятый Форум молодых ученых в Китайской Народной Республике. Это решение закрепляет успех нынешнего мероприятия и намечает новые горизонты для интеграции образовательных, научных и производственных процессов между Россией и Китаем в области геотехники и подземного строительства.

В рамках церемонии закрытия форума всем участникам и организаторам были вручены дипломы и благодарственные письма.

В дни проведения форума зарубежным участникам также удалось познакомиться с российскими традициями и оценить одну из визитных карточек страны – Московский метрополитен. Его знаменитые станции, где величие архитектуры встречается с высокими технологиями, произвели на делегацию неизгладимое впечатление и наглядно продемонстрировали особенности отечественного подхода к подземному строительству.

Следующий день подарил участникам настоящую палитру впечатлений, позволив глубже ощутить историю и технологический потенциал России. Участники форума посетили ВДНХ – грандиозный памятник совет-

ской эпохи. Делегация увидела знаменитую Арку главного входа, монумент Ленину, фонтан «Дружба народов» и легендарную ракету-носитель «Восток».

В павильоне «Космос» гостей ждало погружение в историю покорения воздушного пространства: более 120 уникальных экспонатов и рассказ о современных космических программах раскрыли масштабы отечественной науки. В павильоне «Технониколь» делегаты познакомились с передовыми строительными решениями, сочетающими корпоративные разработки и мировой опыт.

Также в дни проведения форума для китайской делегации состоялось культурное путешествие в сердце России – город-герой Тулу. Гости погрузились в богатейшее историческое наследие, осмотрев ансамбль Тульского кремля, величественные Успенский и Богоявленский соборы, а также узнаваемые символы города – памятники Петру I, тульскому самовару и прянику.

Посещение Музея оружия стало наглядной иллюстрацией военной истории страны: уникальная экспозиция, охватывающая период с XIV в. до наших дней, произвела на участников неизгладимое впечатление. Особой частью программы стал увлекательный мастер-класс по изготовлению знаменитых тульских пряников, в ходе которого гости не только узнали об истории этого лакомства и его аналогах в разных культурах, включая Китай, но и создали собственные пряники своими руками.

В завершающий день проведения деловой программы форума и II Международной научно-практической конференции «Проектирование, строительство и эксплуатация объектов транспортной инфраструктуры в сложных климатических и инженерно-геологических условиях» был организован технический визит на завод «Новые трубные технологии» – флагман отечественной индустрии в сфере производства инновационных строительных материалов.

Участникам была представлена уникальная возможность увидеть полный цикл создания стеклокомпозитных труб большого диаметра. В ходе посещения этого предприятия были продемонстрированы следующие ключевые технологии:

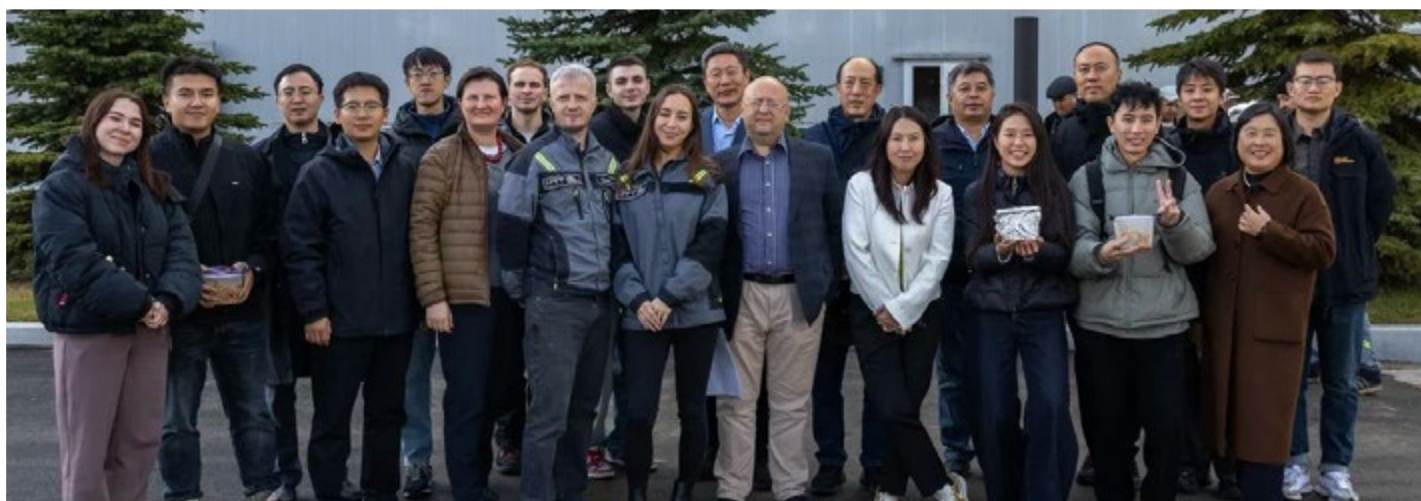
- процесс непрерывной намотки, обеспечивающий высокие прочностные характеристики продукции;
- система контроля: многоуровневая проверка качества на каждом этапе производства;
- испытательные полигоны: стенды для тестирования эксплуатационных свойств готовых изделий;

Особый практический интерес вызвали реализованные проекты с применением разработок завода:

- комплексные решения для водоотведения и дренажа в транспортных тоннелях;
- композитные конструкции для укрепления грунтов и устройства оснований;
- инновационные продукты для сейсмостойкого строительства.

Визит не только дополнил теоретические





дискуссии предыдущих дней, но и стал катализатором для переговоров о применении этих передовых решений в перспективных российско-китайских проектах подземного строительства.

Мероприятие подтвердило свой статус как эффективной площадки для интеграции науки, образования и производства, заложив прочный фундамент для дальнейшего научно-технического сотрудничества между двумя странами.

Участники форума выразили уверенность, что совместные исследования и проекты в области подземного строительства будут способствовать развитию устойчивой инфраструктуры и формированию безопасных

городских пространств.

Особый интерес вызвали вопросы, связанные со строительством и эксплуатацией транспортных объектов в сложных климатических и инженерно-геологических условиях, включая совершенствование технологий возведения сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, развитие методов инженерной защиты в сейсмоактивных регионах, а также повышение надёжности и устойчивости подземных и транспортных систем в условиях интенсивных природных воздействий. Такие направления остаются ключевыми как для научного сообщества, так и для практики транспортно-строительства.

IV Китайско-Российский форум стал насыщенным и продуктивным, открыв и расширив новые горизонты для научного сотрудничества и обмена опытом в области геотехники и подземного строительства. Все участники мероприятия выразили готовность развивать это взаимодействие между странами и с удовольствием ждут новой встречи на будущем пятом форуме в 2026 г.

Составители материала:

Т. В. Шетитько, А. А. Пискунов,

А. Р. Попонин, И. В. Вдовина,

Н. А. Телятникова, А. А. Карпухина,

И. А. Галабурда, А. М. Шаритов, А. С. Кабулова,

(все – РУТ (МИИТ))





23 ноября 2025 г. отметил свой 85-летний юбилей выдающийся советский и российский ученый, действительный член академии РАЕН, доктор технических наук, профессор, педагог Борис Арнольдovich Картозия.

Борис Арнольдovich является потомственным инженером-шахтостроителем. Свою любовь к горному делу он унаследовал от отца, Арнольда Теймуразовича Картозии, высокопоставленного работника угольной промышленности СССР. В 1963 г. Картозия-младший с отличием окончил Московский ордена Трудового Красного Знамени горный институт (в настоящее время институт в составе НИТУ «МИСиС») по специальности «Шахтное и подземное строительство», а затем три года работал сменным инженером на строительстве станции «Таганская» Краснопресненского радиуса в СМУ-6 Мосметростроя.

Борис Арнольдovich прошел полный путь становления как ученый и администратор. В 1966 г. Б. А. Картозия поступил в аспирантуру и успешно защитил кандидатскую диссертацию, и заведующий кафедрой СПСиШ Н. М. Покровский предложил ему остаться работать на кафедре, сначала ассистентом, а затем доцентом. Потом он был направлен на стажировку в Высшую национальную горную школу г. Нанси, Франция. В 1979 г., после защиты докторской диссертации, Борис Арнольдovich возглавил кафедру строительства подземных сооружений и шахт, а начиная с 1987 г. по 2007 г. совмещал обязанности первого проректора Московского государственного горного университета.

На это время выпал активный период работы Бориса Арнольдovichа над научной проблематикой комплексного освоения подземного пространства недр: установление общих закономерностей влияния горно-строительных технологий на механическое состояние пород вмещающего массива, способов повышения устойчивости выработок. Кульминацией научной деятельности Б. А. Картозии стало формирование методологических основ науки «Строительная геотехнология», включенной РАН в новую классификацию горных наук.

Борис Арнольдovich всегда уделял большое внимание и подготовке кадров горных инженеров для учебных заведений, научно-исследовательских и проектных организаций России, Украины, Грузии, Болгарии, Китая и Вьетнама. Под его руководством защищено 6 докторских и 20 кандидатских диссертаций. Он мудрый и принципиальный наставник, учитель для нескольких поколений студентов, магистров, аспирантов и докторантов.

Впечатляет публикационная активность Б. А. Картозии: более 220 научных работ, в том числе 11 монографий, 15 учебников и учебных пособий, 14 изобретений и патентов. Он является соавтором научного открытия – «Явление возникновения самонапряженного состояния горной породы, сформировавшейся под действием внешних сил».

Его научная деятельность ознаменовалась лауреатством Государственной премии СССР, премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, премии Правительства Российской Федерации в области образования, премии имени академика А. А. Скочинского.

Б. А. Картозия является почетным строителем России, почетным работником высшего профессионального образования РФ, действительным членом Российской академии естественных наук. Более 40 лет он был членом правления Тоннельной ассоциации России.

Высокое общественное признание научной и педагогической деятельности Б. А. Картозии отмечено многочисленными званиями и наградами: медалями «За трудовую доблесть», «В память 850-летия Москвы», почетным знаком «Шахтерская слава» трех степеней, нагрудным знаком Государственного комитета СССР по народному образованию «За отличные успехи в работе», серебряной медалью ВДНХ, орденом Дружбы.

Борис Арнольдovich – прекрасный литератор, обладающий искрометным юмором и тонким знанием жизни и людей. В настоящее время российский ученый-горняк, заслуженный деятель науки Российской Федерации Борис Арнольдovich Картозия – почетный профессор кафедры строительства подземных сооружений и горных предприятий Горного института НИТУ «МИСиС», советник ректората университета, чей богатейший опыт остается востребованным и сегодня.

С 85-летним Юбилеем, дорогой Борис Арнольдovich! От всей души желаем Вам доброго здоровья, бодрости духа, неиссякаемой энергии! Мы гордимся Вами и равняемся на Вас.

*Тоннельная ассоциация России
Кафедра строительства подземных сооружений
и горных предприятий Горного института НИТУ МИСиС*

ПРОФЕССОР Б. А. КАРТОЗИЯ И ЕГО ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ОТРАЖЕННАЯ В ЖУРНАЛЕ «МЕТРО И ТОННЕЛИ»

Борис Арнольдович Картозия, советник ректората университета НИТУ «МИСиС», доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, премии Правительства Российской Федерации в области образования был у истоков зарождения Тоннельной ассоциации России и входил в состав ее правления. Долго работал в редколлегии журнала «Метро и тоннели», где в разное время выходили его статьи по освоению подземного пространства, краткое содержание которых мы сегодня напоминаем читателям.

О перспективах разработки системы нормативных документов по освоению городского подземного пространства

Освоение подземного пространства и, в частности, в мегаполисах во всех его аспектах должно носить планомерный и комплексный характер застройки пригодных для этого участков массива как в сложившейся части города так и в развивающихся его районах в тесной увязке с перспективными планами развития городских территорий. Предварительно необходимо разработать общую концепцию создания системы нормативных документов по освоению городского подземного пространства, которая должна отвечать аргументированно на ряд основополагающих вопросов. Последовательно рассмотрим каждый из них: Что, сколько и в какой очередности строить в подземном пространстве города? Где строить и где не строить? Как строить? Как эксплуатировать подземные объекты? [1].

Инновационное техническое решение для крепления кабельных и канализационных тоннелей

Статья посвящена исследованию и разработке инновационной технологии строительства кабельных и канализационных тоннелей с применением высокоточных железобетонных блоков нового технического уровня. Разработанная технология сооружения канализационных тоннелей без возведения вторичной обделки («рубашки») позволяет повысить темпы строительства до 250–300 м/мес и получить практически готовый объект после его проходки. Все это в конечном итоге даёт возможность сократить сроки прокладки тоннелей в 4 и более раз, снизить трудозатраты в 5 раз и общую стоимость строительства на 25–30 % [2].

Некоторые научные, производственные, правовые и образовательные задачи строительной геотехнологии и освоения подземного пространства

В структуре научно-технической проблемы «Освоение подземного пространства» выделяются две крупные составные части: первая связана с научным обоснованием концепции и принципов планирования подземной инфраструктуры, а вторая – с обоснованием и разработкой методов, способов и технологий

для практического освоения подземного пространства. Хотелось бы выразить нашу убежденность в правильности выбранного Россией пути решения глобальной научно-технической проблемы освоения подземного пространства. При умелой координации соответствующих научных, проектно-конструкторских, производственных и образовательных организаций России можно ожидать достижений мирового уровня. Надежной гарантией тому является ее интеллектуальный и производственный потенциал [3].

О некоторых вопросах реформирования высшего горного образования (1958–2016 гг.)

Публикуемый доклад был сделан на ежегодном Международном симпозиуме «Неделя горняка 2017». Автор изложил свое видение сегодняшнего состояния подготовки горных инженеров-строителей, сосредоточив внимание на наиболее актуальных вопросах: кого и для кого готовить в вузе; новая образовательная доктрина; варианты многоуровневой системы подготовки; инженер или бакалавр-инженер? кто такой магистр? национальные университеты как вузы нового типа; качество подготовки горных инженеров-строителей; статус профессоров [4].

Квартира на 102-м этаже под землей

В ранее опубликованных нами работах дан прогноз освоения подземного пространства мегаполисов как возможный вариант решения жилищной проблемы в условиях их перенаселения. В частности, статья «Города уйдут под землю?» в журнале «Кот Шрёдингера» вызвала большой интерес читателей и одновременно обозначила один из важнейших вопросов этой проблемы, связанный с условиями комфортного и безопасного проживания людей в подземных условиях [5].

Свистать всех в забой!

Есть немало воспоминаний в истории Метростроя о строительстве первой очереди, включавшей две ветки: «Сокольники» – «Парк культуры» и «Охотный Ряд» – «Смоленская». Пущены в эксплуатацию они были в мае 1935 г. Арнольд Теймуразович Картозия в свое время поделился интересными фактами в сборнике «Как мы строили метро» [6].

Новый этап реформы российского высшего образования

Ученые кафедры строительства подземных сооружений и горных предприятий Горного института НИТУ «МИСиС» делятся опытом организации и результатами предыдущего этапа реформы, а также излагают свое видение новой отечественной модели обучения студентов горностроительного профиля. Реформирование образования – процесс неизбежный. Его сущность состоит в изменении идеологии (концепции) и обновлении технологий обучения. Работникам образовательной сферы к этому давно следует привыкнуть и быть готовыми к переменам, связанным с оптимизацией высших учебных заведений, номенклатуры специальностей, необходимостью повышения собственной квалификации и даже к овладению новыми, более востребованными профессиями. Авторы статьи надеются, что члены ТАР примут деятельное участие в обсуждении этого актуального государственного вопроса [7].

Список использованных источников

1. Левченко А. Н., Дмитриев А. Н., Корчак А. В., Картозия Б. А., Федунец Б. И. О перспективах разработки системы нормативных документов по освоению городского подземного пространства // Метро и тоннели. 2007. № 4. С. 4–6.
2. Левченко А. Н., Федунец Б. И., Картозия Б. А. Инновационное техническое решение для крепления кабельных и канализационных тоннелей // Метро и тоннели. 2010. № 1. С. 12–16.
3. Картозия Б. А., Корчак А. В., Лагуткин А. В. Некоторые научные, производственные, правовые и образовательные задачи строительной геотехнологии и освоения подземного пространства // Метро и тоннели. 2013. № 2. С. 28–31.
4. Картозия Б. А. О некоторых вопросах реформирования высшего горного образования (1958–2016 гг.) // Метро и тоннели. 2017. № 3–4. С. 22–29.
5. Картозия Б. А. Квартира на 102-м этаже под землей // Метро и тоннели. 2020. № 2. С. 36–39.
6. Картозия Б. А. Свистать всех в забой! // Метро и тоннели. 2021. № 4. С. 47.
7. Картозия Б. А., Корчак А. В., Панкратенко А. Н., Смирнов В. И., Шуплик М. Н. Новый этап реформы российского высшего образования // Метро и тоннели. 2022. № 3. С. 32–34.



Производство инновационных
минеральных и химических
продуктов

СИНЕРГО

ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

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

ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

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



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

СОЗДАЕМ ПУТЬ
К НОВЫМ ГОРИЗОНТАМ



ИНФРАСТРУКТУРНАЯ АРХИТЕКТУРА



+7 (495) 917-20-45



WWW.PK-ENGINEERING.RU



ВЕРЕСКОВАЯ УЛ., Д.9, МОСКВА