

Журнал

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

Председатель редакционной коллегии

К. Н. Матвеев, председатель правления ТАР

Зам. председателя редакционной коллегии

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

Ответственный секретарь

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

Редакционная коллегия

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук

В. В. Внутских

С. А. Жуков

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

Ю. Н. Малышев, академик РАН

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

М. Х. Миралимов, доктор техн. наук

А. Ю. Старков

Б. И. Федунец, доктор техн. наук

Т. В. Шепитько, доктор техн. наук

Ш. К. Эфендиев

Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172

факс: (495) 607-3276

www.rus-tar.ru

e-mail: info@rus-tar.ru

Предпечатная подготовка

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71

127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,

оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

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

В Тоннельной ассоциации России

Обзор итогов Научно-технической конференции «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве 2022»

В. В. Внутских, С. В. Мазеин,
А. Р. Попонин, В. А. Митрофанов

2

Проектирование

Строительство метрополитена в Ереване

Д. А. Павловский, В. Р. Власюк

8

Обеспечение сейсмостойкости тоннельных конструкций проектируемого участка Ереванского метрополитена

И. Я. Дорман

12

Обоснование объемно-планировочных решений станций метрополитена методами математического моделирования пассажиропотоков

Д. Е. Шабунина, В. П. Чижииков, А. И. Данилов

16

Строительство тоннелей

Строительство нового Керакского тоннеля на Забайкальской железной дороге

А. А. Перегудов, С. С. Батиенко, Д. Ю. Лаппи

20

Механизированный комплекс «ПОТОК» опалубочных систем «ГАММА» для строительства Керакского тоннеля

М. Я. Бунт, Е. Г. Гурин, А. Р. Попонин

24

Исследования

Определение предельных зон вокруг тоннельных сооружений с учетом упругопластических свойств грунтов по теории Мора-Кулона

М. Миралимов, Р. Абирова,
Д. Усманов, А. Каршибоев

28

Освоение подземного пространства

Целесообразность создания подводных паркингов в крупных городах

Л. В. Маковский, В. В. Кравченко

32

Геофизика

Опыт применения специфических систем наблюдений при сейсмотомографических исследованиях грунтового массива для решения геотехнических задач

К. А. Дорохин, А. М. Сухарев

34

Вопросы безопасности

Характерные тренды развития и цена аварий в современном тоннелестроении

В. Е. Меркин, Е. Н. Петрова

38

Вопросы высшего образования

Проблематика подготовки специализированных кадров в области подземного строительства

Я. В. Мельник, В. А. Черняева

42

Щитовая проходка

Импортозамещение в тоннельной навигации

Г. М. Стафеев, А. Г. Леонов

44

Наша история

Опыт и высокие технологии – основа совершенствования тоннельного и подземного строительства

С. Н. Власов

45



Мосметрострой



СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

На строительстве нового Керакского тоннеля (с. 20)

ОБЗОР ИТОГОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ 2022»

9 ноября 2022 г. в конференц-зале АО «Мосметрострой» (Москва) прошла Научно-техническая конференция «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели – 2022», организованная Тоннельной ассоциацией России при участии АО «Мосметрострой», генерального партнера АО «Мосинжпроект», информационного партнера – журнала «Метро и тоннели» и компании ООО «Синерго» как спонсора мероприятия.

С приветственным словом к участникам конференции обратился председатель правления Тоннельной ассоциации России К. Н. Матвеев, который выразил уверенность в том, что подобные мероприятия способствуют развитию творческой активности всех специалистов, занятых в реализации обширных программ освоения подземного пространства, и пожелал всем собравшимся успешной работы.

О положении дел в Международной тоннельной ассоциации и об ее не прерывающихся взаимоотношениях с Тоннельной ассоциацией России сообщил заместитель председателя правления ТАР М. Ю. Беленький. Он проинформировал участников конференции о том, что руководство Международной ассоциации тоннелестроения и освоения подземного пространства, избранное на Генеральной ассамблее ИТА/AITES, которая состоялась в сентябре текущего года в г. Копенгаген (Дания), высоко оценивает деятельность Тоннельной ассоциации России. Руководство ИТА/AITES выражает уверенность в том, что профессиональные связи между специалистами в области освоения подземного строительства всех стран будут расширяться и укрепляться. В заключение своего выступления он передал председателю

правления ТАР К. Н. Матвееву памятную доску от Канадской ассоциации тоннелестроителей, с которой Тоннельная ассоциация России сотрудничает многие годы.

С сообщением о достигнутых результатах и перспективах освоения подземного пространства в России выступил генеральный директор АО «Мосметрострой» С. А. Жуков. Он рассказал участникам конференции о результатах работы по реализации Программы развития Московского метрополитена и перспективах, которые открываются перед тоннелестроителями в связи с увеличением объемов реконструкции действующих железнодорожных и автодорожных тоннелей на территории нашей страны, а также с проведением работ по увеличению пропускной способности Транссиба и Байкало-Амурской железнодорожной магистрали.



До начала деловой части К. Н. Матвеев вручил Свидетельства о членстве в Тоннельной ассоциации России новым участникам – организациям и индивидуальным членам.





Далее на конференции, модератором которой выступил д. т. н., профессор И. Я. Дорман, было представлено и обсуждено 16 докладов по следующим темам:

- Проектирование метрополитенов и подземной инфраструктуры в мегаполисах;
- Научно-техническое сопровождение подземного строительства;
- Применение новейших технологий, материалов и конструкций при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей;
- Информационное моделирование при инженерных изысканиях, проектировании, строительстве, эксплуатации метрополитенов и подземных сооружений;

- Перспективы развития транспортных тоннелей Кавказа;
 - Обеспечение промышленной и пожарной безопасности транспортных тоннелей;
 - Подготовка и переподготовка инженерных кадров для подземного строительства.
- Тексты наиболее интересных выступлений участников в виде статей будут публиковаться в очередных номерах нашего журнала. Ниже даются краткие аннотации докладов.

1. *Я. В. Мельник, В. А. Черняева, ФГБОУ ВО ПГУПС. Проблематика подготовки специализированных кадров в области подземного строительства.*

В настоящее время можно выделить множество заинтересованных сторон, участвующих в оценке качества образования и заинтересованных в его повышении. Критерии оценки могут кардинально различаться между собой и рассматриваться весьма упрощенно, хотя проблема оценки качества образования гораздо глубже и серьезнее. Необходимо сформулировать «единые» результаты обучения со стороны вуза и работодателя по образовательной программе «Тоннели и метрополитены» (специальность «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»). С этой целью следует провести анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам на рынке труда, обобщения отечественного и зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники, иных источников. Для ликвидации разницы в требованиях профессионального стандарта и реальными требованиями работодателей к компетенциям выпускника – организовывать и проводить дополнительное обучение студентов и выпускников по технологиям повышения квалификации, авторских курсов, профессионального обучения, целевого обучения по образовательной программе.

2. *Д. Д. Герасимов, О. В. Вершина, АО «Мосинжпроект». Новейшие материалы и технологии для стабилизации забоя и кондиционирования грунта при сооружении тоннелей механизированными щитовыми комплексами.*



Проанализированы данные из проектов ТПМК, чтобы найти причины «высоких» рабочих показателей стабилизации забоя и кондиционирования грунта. Представлены данные экспериментальных исследований таких показателей, в том числе зарубежных лабораторий. Высказаны мнения, исходя из опыта и обсуждения с другими исследователями относительно того, почему некоторые ТПМК с кондиционированием грунта работают лучше других тоннелепроходческих комплексов.

3. В. А. Алексеев, ООО «Синерго». *Особенности закрепления грунтов по технологии инъекционной протитки в условиях действующего метрополитена.*

Периодически действующие нагрузки, прикладываемые к грунту, вызывают вибрации, существенно сказывающиеся на свойствах грунта. Уменьшение трения при вибрациях в грунтах является основным фактором, влияющим на изменения грунтовых свойств (уменьшении прочности грунтов, нарушение условий их устойчивости) – особенно в песчаных грунтах. Рассмотрены режимы инъекционного нагнетания для закрепления грунтов. Подведены итоги опытных работ в тоннеле и лабораторных работ по определению рациональных технологических параметров укрепления основания тоннеля, по восстановлению контакта «грунт – обделка», по восстановлению гидроизоляции конструкций и устранению дефектов железобетонных конструкций.

4. М. О. Лебедев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс». *Перспектива строительства транспортных тоннелей на Северном Кавказе.*

Рассмотрен вопрос строительства дороги между посёлком Красная Поляна в Краснодарском крае и Архызом в Карачаево-Черкесской Республике. Трасса соединит курорты Лаго-Наки, Архыз и Красную Поляну. Это создаст огромную зону лыжного катания, что позволит РФ войти в пятёрку крупнейших курортов мира. Приведены:

- план вариантов развития сети автомобильных дорог в районе Черноморского побережья РФ и курортов Северного Кавказа;
- план продления автомобильной дороги А-149 Адлер – Красная Поляна от села Эстопадок до посёлка Пхия;
- общий ситуационный план вариантов развития сети железных дорог в районе Черноморского побережья РФ и курортов Северного Кавказа.

5. Д. Е. Шабунина, ООО «Центр исследований опасных факторов пожаров». *Обоснование объёмно-планировочных решений станций метрополитена методами математического моделирования пассажиропотоков.*

Моделирование является альтернативным перспективным инструментом анализа принимаемых объёмно-планировочных решений в условиях гибкого нормирования, позволяющим:

- обосновать достаточность вестибюлей, эскалаторов, турникетов, выходов из вестибюлей, размещение касс, лифтов;

- оптимизировать пути движения пассажиров в зависимости от топологии и пассажиропотоков;

- определять максимальное количество людей на станции метрополитена для расчётов эвакуации при ЧС, в т. ч. пожарах.

Требуется разработка методики по обоснованию объёмно-планировочных решений, а также экспериментальные исследования для валидации моделей движения пассажиров.

Потенциалом предлагаемого метода является применение моделирования потоков людей не только для метрополитенов, но и для любых транспортных и общественных сооружений, в т. ч.: аэропорты, ТПУ, вокзалы, музеи, стадионы, театры и т. д.

6. О. Р. Кучеренко, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации». *Актуализация и дополнение методики комплексного обследования состояния строительных конструкций метрополитена, попадающих в зону влияния строительства городских объектов.*

Комплексное обследование, в методику которого внесены некоторые дополнения, включает: визуальное и инженерно-инструментальное обследование; геофизическое обследование; геодезическо-маркшейдерские работы. Детальное (инструментальное) обследование при обмерных работах по бетону проводится, в том числе, с использованием микроскопа Бриннеля для измерения ширины раскрытия трещин. Маркшейдерские работы при наблюдении за деформациями действующих тоннелей метрополитена решают задачи оценки габаритов приближения, геометрических параметров обделки тоннеля, профиля трассы тоннеля. Инженерно-инструментальное обследование (дефектоскопия) проводится с использованием видеокамеры и цифрового фотоаппарата. На видеопленке фиксируется вся внутренняя поверхность сооружения, на фотопленке – только участки с видимыми дефектами. Измерения прочности бетона конструкций тоннелей ведутся неразрушающим методом. С введением ГОСТ 17624-2021 определение прочности бетона по универсальным градуировочным зависимостям не допускается.

7. А. А. Мишедченко, ООО «ГСК-Шахтпроект». *Новый вид конструкции гидроизоляционного узла тубинговой крепи.*

Проведен анализ применяемых материалов для гидроизоляции тубинговой крепи на вертикальных и наклонных стволах. После обзора рекомендаций по замене используемых гидроизоляционных профилей на новые разработана конструкция тубинга с гидроизоляционным профилем и проведены лабораторные испытания. Произведена оценка экономической целесообразности внедрения EPDM профилей взамен существующих. Таким образом, тубинговая гидро-

изолирующая крепь вертикального шахтного ствола будет представлять собой кольцо чугунных тубингов с выполненными расчетными проточками с установленными в них EPDM профилями.

8. К. А. Дорохин, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс». *Применение инженерно-геофизических методов в рамках научно-технического сопровождения при подземном строительстве.*

Рассмотрены возможности исследования массивов сейсмоакустическим методом без применения скважин и скважинного оборудования с использованием индивидуально подобранной аппаратуры и системы наблюдений, которая позволяет решить конкретную поставленную задачу. Инженерно-геофизические исследования для решения геотехнических задач, возникающих при подземном строительстве, зарекомендовали себя как надежный и эффективный инструмент по выявлению неблагоприятных факторов и процессов во вмещающем грунтовом массиве, как и инструмент для оперативного контроля эффективности уже проведенных мероприятий по ликвидации неблагоприятных факторов. Параметры, полученные геофизическими методами, могут быть необходимы для уточнения технологических параметров противоаварийных и превентивных мероприятий. Выбор оптимальной схемы наблюдений является основополагающим фактором для возможности эффективного решения поставленной задачи. К таким факторам также относятся как временные рамки, ответственные на геофизические исследования при аварийных ситуациях и график производства строительно-монтажных и сопутствующих работ, так и финансовая сторона исследований. Описанные методы также эффективно применяются в мониторинговых целях, когда необходимо выполнить оценку эффективности выполненных противоаварийных или превентивных мероприятий по стабилизации или укреплению грунтового массива.

9. Е. Н. Захарын, ООО «Эм-Си Баухеми». *Гибридная технология инъекции грунтов (дистанционно).*

Доложено о гибридной инъекционной технологии, которая опробована на новом Байкальском тоннеле. На этом объекте компанией были произведены работы по герметизации гидрогелем MC-Injekt 3000 HPS. Представлено полноценное сравнение переносимой гибридной технологии с обычной технологией цементации, рассказано обо всех плюсах и минусах этих технологий и представлен полноценный фото- и видеоотчет с объекта, где применялась гибридная инъекционная технология.

10. А. В. Каченко, А. И. Яценко, ООО «Институт «Мосинжпроект». *Анализ применения комплексного метода тампонажа в подземном строительстве г. Москвы.*

Детально рассмотрены все специальные способы строительства, которые используются при строительстве Московского метро-

политена, раскрыта их сущность и проведено сравнение всех плюсов и минусов этих технологий. Отдельное внимание было уделено технологии комплексного тампонажа или тампонажа глиноцементными растворами. Приведено сравнение результатов цементации и комплексного тампонажа на примере станции метро БКЛ «Терехово».

11. *Е. Г. Гурин, ООО «Техноком-БМ». Бетонирование постоянной обделки Керакского тоннеля опалубочным комплексом ГАММА.*

Должено об уникальном механизированном комплексе для строительства тоннелей с возможностью последующей модернизации под однопутные тоннели с измененным сечением. На примере реконструкции старого и строительства нового Керакского тоннеля рассказано об опыте разработки, создания и применения опалубочного комплекса «ПОТоК». Приведены технические характеристики и возможности применения нового опалубочного комплекса. Отдельное внимание было уделено высокой степени импортозамещения для этого комплекса.

12. *А. И. Осокин, СПбГАСУ. Оценка влияния факторов риска подземного строительства на деформации зданий окружающей застройки в слабых грунтах.*

Установлено, что факторами риска изготавливаемых конструкций ограждения котлована являются технологические воздействия, возникающие как непосредственно при выполнении работ по устройству ограждения котлована, так и при его откопке и строительстве подземного сооружения. Выбор конструктивных и технологических решений при проектировании подземных сооружений в условиях плотной городской застройки определяется по степени влияния на окружающие площадку строительства здания и сооружения. Проведена качественная оценка конструкторско-технологических решений при устройстве ограждений котлована удерживающей системой в условиях плотной городской застройки в слабых грунтах по методу простого аддитивного взвешивания (SAW). Показано, что наиболее высокий приоритет по конструкторско-технологическим показателям рейтинговых оценок получили удерживающие системы, сочетающие конструкцию «стена в грунте» с распорной металлической конструкцией (или металлическими подкосами) и систе-

му раскрепления ограждающих конструкций по технологии «Top-Down».

13. *С. П. Антонов, ООО «ПРОЗАСК». О пожарах в тоннелях.*

Уделено внимание пожарам в тоннелях и соблюдению пожарной безопасности. Были рассмотрены несколько примеров из истории пожаров в метро, существующие своды правил, а также основные причины пожаров в тоннелях. На понятном для всех языке рассказано о правилах поведения в тоннеле – водителям и пассажирам: что делать при начале пожара, как себя вести и на что обращать отдельное внимание.

14. *А. И. Данилов, ООО «Центр исследований опасных факторов пожаров». Противопожарная защита однопутных тоннелей метрополитена. Системный подход.*

Должено о системном подходе к противопожарной защите однопутных тоннелей метрополитена. Освещена история пожаров метро – детально рассмотрены несколько примеров со всего мира. Исходя из построенной статистики, представлены основные причины пожаров – возгорание силового кабеля и пожар в подвижном составе. Исходя из нормативных требований, проведен анализ различных сценариев пожаров в поезде. Рассчитано время эвакуации, определены пути эвакуации и построена расчетная модель FPS. Приведен анализ результатов моделирования и сделаны выводы.

15. *Р. А. Соловьёв, ООО «Центр исследований опасных факторов пожаров». Огнестойкость чугунной обделки.*

Исследована огнестойкость чугунных обделок. Проведены полноценные испытания чугунных обделок. Представлена схема огневого воздействия на кольцо обделки, график температур обделки на разных временных промежутках пожара, эпюры распределения нагрузки и изменение прочности обделки при нагревании. При огневом испытании обделок смоделировано совместное воздействие горного давления и высоких температур от стандартного, углеводородного пожара.

16. *А. В. Колесников, ООО «Лира». Методы моделирования расчета подземных сооружений.*

Должено о Российском программном комплексе для моделирования и расчета строительных конструкций. Разработана

многофункциональная система анализа и расчета строительных конструкций различного назначения. Представлен интерфейс для существующей программы и показаны возможности её применения, а также были определены сферы строительства, для которых подходит данное программное обеспечение.

После завершения презентаций докладов, предусмотренных программой конференции, состоялась интересная дискуссия по вопросам подземного строительства.

Всего в мероприятии приняли участие более 130 специалистов проектных, строительных и эксплуатационных организаций, вузов, а также компаний-производителей специализированного оборудования и материалов России и ближнего зарубежья (всего более 50 организаций).

Во время перерывов конференции состоялись награждения победителей **конкурса дипломных работ среди студентов по проблематике освоения подземного пространства – 2022**. Жюри конкурса определило семь работ победителей из пяти вузов:

в номинации «Освоение подземного пространства городов» (специалисты):

- Шаламберидзе Лука Давидович (МГСУ, рук. В. Е. Меркин) – «Проектирование станции метрополитена открытым способом с использованием ограждения котлована в качестве постоянной конструкции»;

- Некрасов Алексей Сергеевич, Музалков Артем Константинович, Морозов Сергей Михайлович, Быков Андрей Андреевич (все СГУПС, рук. Г. Н. Полянкин) – «Информационное моделирование участка строительства станции метрополитена» (комплексная ВКР);

в номинации «Транспортные тоннели» (специалисты):

- Денисова Дарья Александровна (МГСУ, рук. В. Е. Русанов) – «Проектирование двухпутного автодорожного тоннеля Новоавстрийским методом»;

- Наймушин Владимир Константинович (ПУПС, рук. В. Н. Кавказский) – «Железнодорожный транспортный тоннель»;

в номинации «Транспортные тоннели» (магистры):

- Черникова Дарья Викторовна (МГСУ, рук. М. Г. Зерцалов) – «Анализ метода нагнетания для компенсации осадок зданий при работе ТПКМ»;





в номинации «Шахтное строительство» (специалисты):

- Эшматов Самандар Сайдмурадович (МПУ, рук. А. В. Кузина) – «Реконструкция Навоийского горно-металлургического комбината рудника Урталик. Выбор технологии углубки клетьевого ствола»;

- Пахомов Александр Владимирович (ПГУПС, рук. А. Н. Коньков) – «Реконструкция вентиляционного ствола метрополитена».

По окончании конференции состоялись награждения организаций-победителей конкурса «На лучшее применение технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений – 2022». Жюри конкурса определило семь организаций-победителей:

- ООО «ТЕХНОКОМ-БМ», Москва (в номинации «Технологии при проходке тоннелей и строительстве подземных сооружений закрытым способом») за перекатную тоннельную опалубку с возможностью последующей

модернизации под однопутные тоннели с измененным сечением;

- ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург (в номинации «Технологии при проходке тоннелей и строительстве подземных сооружений открытым способом») за ликвидацию нештатной ситуации при сооружении котлована в неустойчивых водонасыщенных грунтах;

- Филиал ООО «РСРС ГмБХ Рэйлвэй Инфраструкчер Проджектс», Москва (в номинации «Разработки, ведущие к снижению стоимости строительства подземных объектов») за технологию LVT (Low Vibration Track – Путь пониженной вибрации);

- АО «Мосинжпроект», Москва (в номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений») за автоматизированную систему управления процессами в области охраны труда, промышленной безопасности и охраны окружающей среды;

- АО «НЬЮ ГРАУНД», г. Пермь (в номинации «Работы по стабилизации неустойчивых грунтов, устройству оснований и укреплению фундаментов») за технологию струйной цементации грунтов в зоне многолетнемерзлых грунтов;

- ООО «ПРОМЭНЕРГОРЕСУРС», Москва (в номинации «Гидроизоляционные материалы и устройство для отвода воды») за деформационно-устойчивую негорючую гидроизоляцию с длительным сроком эксплуатации;

- ООО «СИНЕРГО», Челябинская обл. (в номинации «Материалы и конструкции для тоннелей и подземных сооружений») за улучшение физико-химических свойств различных грунтов путем инъекционного нагнетания.



**В. В. Внутских, С. В. Мазин,
А. Р. Попонин, В. А. Митрофанов,**
Тоннельная ассоциация России



1 ноября 2022 г. исполнилось 85 лет доктору технических наук, лауреату премии Совета министров СССР, заслуженному строителю России, почётному гражданину России, почётному члену Тоннельной ассоциации России Кулагину Николаю Ивановичу.

Николай Иванович в 1960 г. окончил Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ), факультет мостов и тоннелей по специальности «Тоннели и метрополитены». Поступил на работу в Ленметропроект, где прошёл путь от инженера до генерального директора ОАО «Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс».

Профессиональная деятельность Николая Ивановича развивалась по четырём направлениям: руководитель; проектировщик; учёный; преподаватель.

Руководитель

В 1977 г. на строительстве Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ) он организовал филиал Ленметрогипротранса – Бамтоннельпроект, создав коллектив высококвалифицированных инженеров для решения вопросов строительства тоннелей БАМа

в сложнейших инженерно-геологических и природно-климатических условиях.

В 1981 г. он вернулся в Ленинград директором Ленметрогипротранса. На его плечи легла «революция» перестройки. Финансирование метростроения упало. Коллективу института приходилось работать по три-четыре дня в неделю. В таких условиях приказано было приватизироваться. Рейдеры не обошли стороной и Ленметрогипротранс. Ведь здание института в центре города – лакомый кусок. И началась война, в которой институт не только выжил, но и победил. Во многом это заслуга Николая Ивановича.

В 1992 г., видя закрытие Министерства транспортного строительства и прекращение финансирования отраслевой науки, Николай Иванович организует в институте научно-исследовательское направление, и Ленметрогипротранс становится научно-исследовательским и проектно-изыскательским институтом.

Проектировщик

Под руководством Николая Ивановича институт вел проектирование метрополитенов в Санкт-Петербурге, Самаре, Красноярске, Казани, Новосибирске, Будапеште, Гаване, Калькутте и других городах. Также велось проектирование подводных тоннелей в Петербурге на Канонерский остров, Орловский тоннель под Невой, в Крыму, на Сахалине, под Беринговым проливом, железнодорожных тоннелей линии Абакан-Тайшет, тоннелей на участке Туапсе-Адлер, между Адлером и курортом «Роза Хутор», Архотского тоннеля, автодорожных тоннелей обхода г. Сочи, Севанского тоннеля в Армении.

Учёный

Николай Иванович – учёный российского и мирового уровня, обладающий глубокими профессиональными знаниями, полученными в результате собственных исследований. Так, его исследования при подготовке кандидатской диссертации позволили определить напряжённо-деформированное состояние временных и постоянных конструкций односводчатых станций на строительстве Ленинградского метрополитена.

Большую перспективу строительства станционных пересадочных узлов метрополитена дали результаты исследований при подготовке Николаем Ивановичем докторской диссертации, в том числе и сохранение исторических архитектурных ансамблей Санкт-Петербурга.

Преподаватель

Многие годы доктор технических наук Н. И. Кулагин вёл преподавательскую деятельность, был членом диссертационного совета ЛИИЖТа. Он являлся председателем Петербургского отделения Тоннельной ассоциации России и председателем Научно-технического и экспертно-консультационного совета.

Сегодня Н. И. Кулагин продолжает свое дело и является советником генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс». Он автор более 20 изобретений в области транспортного строительства. Награжден орденами «Трудового Красного Знамени» (1975) и «Дружбы народов» (1985); медалями: «За строительство Байкало-Амурской магистрали» (1981), «Ветеран труда» (1987) и многими наградами Министерства транспортного строительства и Российской Федерации.

Дорогой Николай Иванович!

Коллектив института ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», правление Тоннельной ассоциации России от всего сердца поздравляют Вас с юбилеем!

В этот день мы хотим выразить огромную благодарность и уважение за огромный вклад, который Вы внесли в развитие метро- и тоннелестроения.

Желаем Вам, дорогой Николай Иванович, крепкого здоровья, неиссякаемой энергии, новых сил и эмоций.

СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТРОПОЛИТЕНА В ЕРЕВАНЕ

CONSTRUCTION OF METRO IN YEREVAN

Д. А. Павловский, В. Р. Власюк, АО «Метрогипротранс»
D. A. Pavlovskiy, V. R. Vlasyuk, JSC «Metrogiprotans»

АО «Метрогипротранс» в 2021 г. выиграло международный тендер по подготовке проектно-сметной документации на строительство станции метро в районе Ачапняк города Еревана.

Строительство Ереванского метрополитена началось в 1972 г. В настоящее время трасса состоит из десяти станций, семь из которых глубокого заложения и три наземные с общей эксплуатационной длиной около 12,5 км. (рис. 1).

В настоящее время ежедневно Ереванским метрополитеном им. Карена Демирчяна пользуется до 70 тыс. пассажиров. В будние дни интервал движения поездов на основной линии составляет 6,5–7,5 минут, а в часы пик уменьшается до 5,5 минут.

Более 30 лет проектирование и строительство метрополитена в Республике не велось, что привело к дефициту специалистов в данной сфере и все организационные вопросы и трудности, связанные с поиском исходных данных, архивных материалов, приходилось решать совместно с мэрией города и руководством действующего метрополитена.

В столице Армении городе Ереване на начало 2022 г. проживает 37 % населения всей страны – 1 092 700 человек.

Это центр экономики и промышленности, дает более 50 % ВВП всей страны. В городе развито строительство, транспортные и финансовые услуги, IT-сектор, туризм. В столице действуют образовательные школы, университеты и вузы. Много развлекательных учреждений, музеев, театров.

В рамках первого этапа проектирования были проведены измерения и лазерное сканирование конструкций, построенных до 1992 г., и разработаны два варианта трассы линии в район Ачапняк с экономическим, социальным и техническим обоснованием размещения станционного комплекса в районе пересечения улиц Алабяна и Абеяна. Рассматривался вариант с размещением станции на мосту, который был исключен мэрией города по экономическим и градостроительным соображениям.

Административный район Ачапняк – четвертый по величине район Еревана и седьмой по численности населения (более 11 % площади города), расположен на правом берегу реки Раздан. Площадь территории района – 2582 га. Численность населения – 109 600 человек.

На территории района расположены парки отдыха для жителей и гостей армянской столицы, сохранились множественные историко-архитектурные объекты



Рис. 1. Схема Ереванского метрополитена

(XV в. до н. э. – XVI в.), находящиеся под охраной государства.

Находясь на правом берегу реки Раздан, район обеспечивает связь с центром города через Большой Разданский мост. Ачапняк обслуживает общественный транспорт – сеть автобусов (десять маршрутов, включая маршрутное такси), маршрут троллейбуса. Вместе с этим наблюдается значительное количество собственных машин, а также тенденция к увеличению степени автомобилизации.

В Ачапняке находятся Республиканский медицинский центр Армении, крупнейшая больница Еревана, Центр акушерства и гинекологии и др.

В районе действуют 20 общеобразовательных школ, 4 частные школы, среди которых известная Международная школа QSI в Ереване, профессионально-техническое училище.

В Ачапняке расположены многие высшие учебные заведения, такие как Ереванский университет Айбусак и Ереванский сельскохозяйственный университет, научно-исследовательский центр Ереванского фи-

зического института, открыты Военная академия им. Монте Мелконяна Министерства обороны Армении, центр креативных технологий Тумо.

Также в районе расположены многочисленные промышленные предприятия, заводы и фабрики, которые добавляют как маятниковые перевозки (дом – работа – дом) в пиковое время, так и грузовые в дневное время, причем не только городского, но и транзитного регионального значения, поскольку район находится на границе города.

Учитывая наличие множества промышленных, социальных, культурных, спортивных и образовательных объектов, а также объектов здравоохранения, передвижение по району на автомобильном транспорте, включая городской общественный, довольно напряженно, а в пиковое время (утро, вечер) затруднено, особенно по городским магистралям, соединяющим Ачапняк мостами через реку Раздан с центром города.

Таким образом, район Ачапняк испытывает большую транспортную нагрузку, в результате которой проявляются такие нега-

тивные факторы, как загрязнение окружающей среды (воздух, земля, вода) вдоль улиц и дорог, шумовое, тепловое и вибрационное воздействие на городскую среду, увеличивающееся число аварий и жертв ДТП, транспортная усталость.

В сложившейся ситуации коренным решением транспортного вопроса района и всего города является возобновление прерванного строительства участка линии метрополитена в район Ачапняк с размещением одной станции вблизи пересечения улиц Алабяна и Абеяна и перспективным продлением его до площади Геворга Чавуша со станцией на пересечении шоссе Мовсеса Силикяна и улицей Геворга Чавуша. Вместе с этим дополнительно предлагается сооружение автодорожного моста через ущелье реки Раздан в створе улицы Абеяна. Это позволит разгрузить транспортные потоки в районе Ачапняк, как пассажирские, так и грузовые, а также уменьшить негативное влияние на окружающую среду за счет увеличения скорости движения автомобильного транспорта, а пассажирам метрополитена – значительно сократить время поездки, снизить транспортную усталость, повысить комфорт поездки.

В геоморфологическом отношении изучаемый участок работ расположен в пределах среднегорного вулканического плато (Арабкирское плато). Проектируемая трасса пересекает каньон реки Раздан. Перепад высот на рассматриваемом участке составляет 100–120 м.

Ширина долины р. Раздан около 320 м. За исключением этой реки значимых постоянных водотоков трасса проектируемого метрополитена не пересекает.

Река Раздан длиной 141 км берет начало из озера Севан и, протекая через Ереван, делит город на две части. В низовьях она течёт по Арагатской равнине и впадает в Аракс на границе с Турцией. Перепад высот р. Раздан составляет 1097 м. В черте города река протекает по скалистому руслу каньона глубиной 100–150 м. Питание реки осуществляется за счёт подземных источников, осадков и талых вод.

В геологическом строении территории принимают участие вулканогенные и осадочные отложения четвертичного возраста.

Вулканогенные отложения представлены долеритовыми базальтами и крупнообломочным материалом шлаковых конусов и выбросов. Долеритовые базальты чередуются с ошлакованными базальтами и межлававыми шлаковыми зонами.

Базальты имеют серую и темно-серую окраску, мелко- и среднезернистую структуру, неравномерно трещиноватые, нередко пористые и кавернозные. Общая мощность базальтов колеблется от 130 до 160 м. Она включает слои различной мощности, отделенные друг от друга шлаковыми горизонтами и материалами вулканических выбросов (мощностью от 1 до 6 м).

Межлававые шлаковые зоны представлены крупнообломочным материалом ошла-

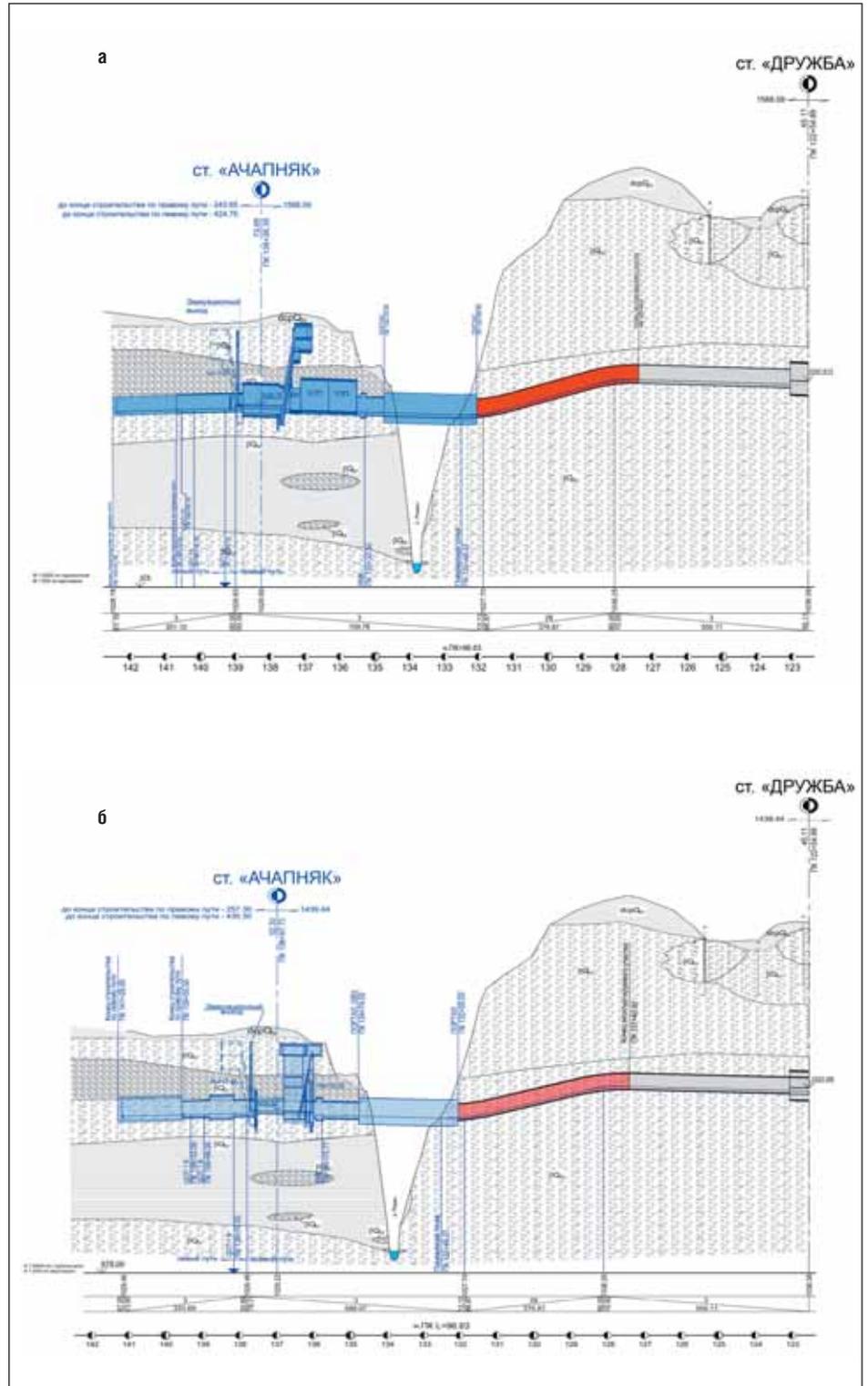


Рис. 2. Продольный разрез трассы проектируемого участка: а – вариант 1; б – вариант 2

кованных базальтов с пеплово-песчаным или карбонатным глинистым материалом (супеси и суглинки).

Неровности кровли базальтовых отложений заполнены пролювиальными отложениями, перекрыты вулканическими туфами.

Особо опасными для строительства являются следующие типы пород: по механическому составу – карбонатные; по генезису – аллювиальные и делювиальные. Высокая нагрузка на отложения вызывает активизацию склоновых процессов. Аллювиальные и пролюви-

альные галечники, пески, суглинки, глины связаны с просадками.

Карбонаты, перекрытые песчано-глинистыми отложениями, имеют поровую структуру и трещиноватость, что создает легкие условия для доступа поверхностных вод и растворение пород с образованием пустот.

Трасса линии запроектирована от тупиков за станцией «Дружба» с учетом построенного участка тоннелей до выхода в Разданское ущелье, с пересечением реки Раздан метромостом, расположенным в створе улицы Абеяна с дальнейшим развитием вдоль этой улицы.



Рис. 3. Трасса линии на плане города проектируемого участка: а – вариант 1; б – вариант 2

Трасса линии с размещением станции «Ачапняк» на пересечении улиц Алабяна и Абеяна рассмотрена в двух вариантах.

Общее направление трассы рассматриваемого участка аналогично для обоих вариантов (рис. 2 и 3).

За станцией «Ачапняк», в обоих вариантах, предусмотрено путевое развитие в виде тупиков с перекрестным съездом для оборота и отстоя составов, пункт технического осмотра и смотровые канавы.

Вариант 1 представлен на рис. 4 и 5.

Решения по варианту 1 принципиально основаны на решениях проекта 1985 г., с учетом использования построенных конструкций.

Станция «Ачапняк» глубокого заложения, трехсводчатая, колонного типа, с одним подземным вестибюлем и эвакуационным выходом. Вестибюль связан с платформой станции тремя эскалаторами высотой 19 м. Междупутье на станции – 13,9 м, длина платформы – 105 м. Конструкция станции – трехсводчатая колонная, из монолитного железобетона, шириной по боковым стенам –

19,9 м, максимальной высотой конструкции по среднему тоннелю – 9,9 м.

На перспективу предусмотрена возможность сооружения второго подземного вестибюля в западном торце станции под улицей Абеяна.

Положение станции определено построенным наклонным ходом и участком левого перегонного тоннеля за станцией «Ачапняк».

Общая строительная длина участка линии по варианту 1 составляет 1,50 км, из них: построенный участок – 0,46 км; проектируемый – 1,04, эксплуатационная длина – 1,57 км.

Строительство тоннелей станционного комплекса, тоннелей оборотных тупиков и перегонных тоннелей от станции до портала ущелья реки Раздан предусмотрено закрытым способом с использованием ранее сооруженного ствола шахты № 25. Глубина заложения тоннелей – до 30 м. Станция расположена в базальтах, трещиноватых, прочных и средней прочности. Конструкция путевых тоннелей – односводчатые, из монолитного железобетона; тоннель для

оборотных тупиков под два пути – шириной 10,7 м, высотой 8,57 м; перегонные тоннели между порталом каньона реки Раздан и станционным комплексом – под один путь, шириной 5,7 м и высотой 5,4 м. Длина участка закрытого способа работ составляет около 748 м.

Проходку всех тоннелей предусмотрено вести горным способом на полное сечение выработки с разработкой забоя буровзрывным способом с использованием стреловых кареток. В случае невозможности ведения взрывных работ из-за близости жилой застройки разработку породы возможно вести стреловыми комбайнами избирательного действия. Временное крепление выработки – анкера и набрызг-бетон.

Возведение железобетонной отделки целесообразно вести с использованием инвентарных передвижных опалубок после окончания проходческих работ на участке тоннеля определенного сечения.

Сооруженный ранее из чугунных тубингов $D_{\text{н}}/D_{\text{вн}} = 7,5/7,0$ м и забученный эскалаторный тоннель подлежит разбутовке и ремонту отделки.

Сооружение вестибюля предусмотрено вести в котловане в скрепление бортов нагелями и набрызг-бетоном по сетке. При этом необходимо закрыть проезд транспорта по улице Абеяна на участке ее примыкания к улице Алабяна, с устройством временной объездной дороги у последней.

Ориентировочный срок строительства по представленному варианту – 48 месяцев.

Вариант 2 представлен на рис. 6, 7 и 8.

Строительство станции «Ачапняк» будет вестись частично открытым и закрытым способом работ. В открытом котловане сооружается часть платформенного участка, вестибюль, тягово-понижительная подстанция, вентиляционная камера и ряд технических помещений. Станция с междупутьем 13 м, длиной платформы 105 м, часть, сооружаемая закрытым способом, двухсводчатая, с одним подземным вестибюлем и эвакуационным выходом. Вестибюль связан с платформой станции тремя эскалаторами высотой 18,2 м (см. рис. 8).

На перспективу предусмотрена возможность сооружения второго вестибюля в западном торце станции под улицей Абеяна.

Рис. 4. Поперечное сечение по станции «Ачапняк» по варианту 1

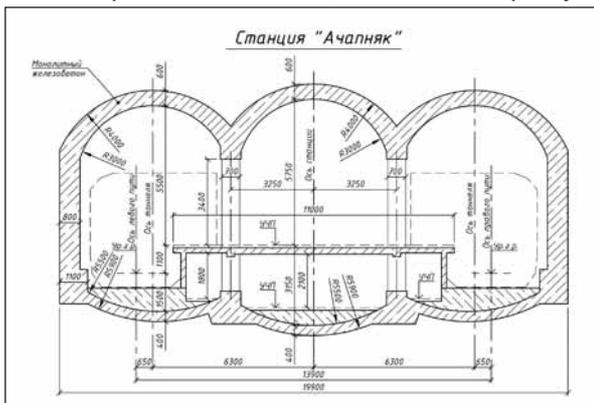


Рис. 5. Перспективный вид бокового зала станции «Ачапняк» по варианту 1



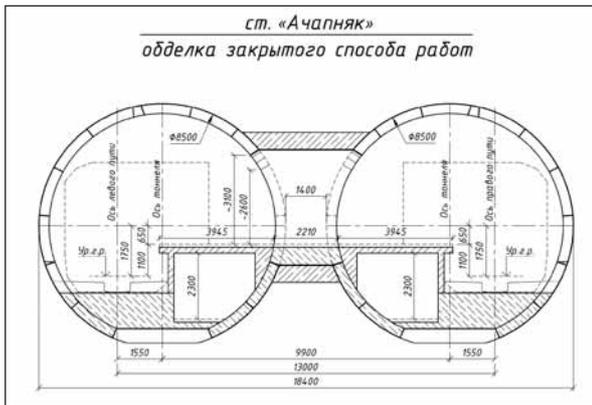


Рис. 6. Поперечное сечение по станции «Ачапняк» по варианту 2

Рис. 7. Перспективный вид бокового зала станции «Ачапняк» по варианту 2

Общая строительная длина участка линии по варианту 2 составляет 1,37 км, из них:

- построенный участок – 0,46 км;
- проектируемый участок – 0,91 км.

Количество станций 1.

Эксплуатационная длина 1,44 км.

В обоих вариантах в плане на построенном неэксплуатируемом участке применены кривые радиусов от 400 до 800 м.

На проектируемом участке – от 300 до 400 м.

В продольном профиле построенного участка применен уклон 28 %, проектируемого участка – 3 %.

Станция расположена в базальтах, трещиноватых, прочных и средней прочности. Глубина заложения – до 30 м. Многоуровневый вестибюль, включающий в себя часть платформенного участка станции длиной около 80 м, шириной около 21 м и глубиной около 30 м, занимает перекресток улиц Алабяна и Абаляна.

Строительство этого вестибюля предусмотрено открытым способом в котловане, что потребует устройство временных объездных дорог и перекладки подземных коммуникаций на этом участке. Строительство остальных сооружений станционного комплекса, тоннеля оборотных тупиков и перегонных тоннелей между станцией и порталом в каньоне реки Раздан предусмотрено вести закрытым способом, с выдачей разрабатываемой породы и подачей материалов через котлован вестибюля. Длина участка закрытого способа работ перед котлованом вестибюля составляет около 120 м; от котлована вестибюля до конца строительства по тоннелю оборотных тупиков – около 440 м. Проходку всех тоннелей предусмотрено вести горным способом на полное сечение выработки с разработкой забоя буровзрывным способом с использованием стреловых кареток. В случае запрещения взрывных работ из-за близости жилой застройки разработку породы возможно вести стреловыми комбайнами избирательного действия. Временное крепление выработки – анкера и набрызг-бетон.

Возведение железобетонной отделки целесообразно вести с использованием инвентарных передвижных опалубок после окон-



Рис. 8. Перспективные виды вестибюля станции «Ачапняк» по варианту 2

чания проходческих работ на участке тоннеля определенного сечения.

Ориентировочный срок строительства по варианту 2 – 42 месяца.

С точки зрения градостроительной ситуации, варианты не имеют принципиальных различий по условиям размещения, однако учитывая построенное в последние годы в технической зоне здание на ул. Фучика, 1/1 и в непосредственной близости от перспективной станции метрополитена над подходящими выработками здание на ул. Абаляна, 2/1, предпочтительным с учетом воздействия и возможных рисков при строительстве является вариант 2, так как

принятые конструктивные решения позволяют принять меньшее междупутье на станции (13 м) и сместить сооружения с указанных зданий.

Проанализировав технические показатели, возможные риски, разницу сроков и стоимости строительства рассматриваемых вариантов, мэрией Еревана к дальнейшему проектированию был выбран вариант 2.

Для связи с авторами

Павловский Дмитрий Александрович
pavlovskiyd@metrogiprotrans.com
Власюк Владимир Романович
vlasukv@metrogiprotrans.com



ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЕКТИРУЕМОГО УЧАСТКА ЕРЕВАНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

ENSURING THE SEISMIC RESISTANCE OF TUNNEL STRUCTURES OF THE PROJECTED SECTION OF THE YEREVAN

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

I. Y. Dorman, D-r of Technical Sciences, Tunnel association of Russia

От редакции

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

Механизм воздействия на конструкцию подземного сооружения сейсмических волн, распространяющихся в грунте при землетрясении

В отличие от наземных сооружений, когда при колебаниях грунтового основания во время землетрясения сейсмическое воздействие на элементы конструкций проявляется в виде инерционных нагрузок по высоте сооружений (масса, умноженная на ускорение), вызывая напряжения и деформации элементов здания, сооружения при их изгибе в воздушном пространстве, подземная конструкция колеблется вместе с массивом грунта. При этом возникают дополнительные (к статическому от горного давления) напряжения: с одной стороны – активное давление грунта, а с другой – напряжения в виде пассивного отпора.

Если же предположить, что жесткость системы «обделка – внутреннее пространство подземной конструкции» не отличается от жесткости только грунта в объеме, замещаемого подземной конструкцией, то в данном случае на контакте не возникнет никаких дополнительных напряжений, и подземное сооружение будет совершать колебательное движение вместе с массивом во время землетрясения. Если же жесткости условных объемов, как правило, отличаются, то задача заключается в оценке такого воздействия (сейсмического напряжения) на тоннельную конструкцию.

Нормативная база

Основными нормативными документами, используемыми при проектировании, являются следующие.

1. Свод правил СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах (Актуализированная редакция СНиП II-7-81*).

2. ВСН 193-81/Минтрансстрой. «Инструкция по учету сейсмических воздействий при проектировании горных транспортных тоннелей». Согласована Госстроем СССР 28 июня 1979 г. № 1 – 1635.

3. Руководство по проектированию подземных сооружений в сейсмических районах (одобрено как «Инструкция» б. Минстроем РФ и б. Госстроем РФ), М. 1996.



4. Свод правил СП 268.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования. Утв. Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 16.12.2016, № 968/пр.

Основные принципы проектирования сейсмостойких конструкций подземных сооружений

Для обеспечения надежной работы конструкций метрополитена в сейсмических условиях города



Еревана необходим комплексный учет при проектировании трассировочных, инженерно-сейсмологических, планировочных, конструктивных, расчетных и других принципов и решений, позволяющих с рациональных экономических позиций создать работоспособные в условиях возможных сотрясений тоннельные конструкции.

Эти принципы основываются на обязательном проведении специальных инженерно-сейсмологических изысканий, методах расчета и проектирования тоннельных обделок на основе исходных сейсмологических данных, соблюдения специальных требований при строительстве и создании системы эксплуатационного мониторинга за колебаниями тоннельной конструкции в течение всего срока ее службы.

В данном конкретном случае трассирование участка метрополитена уже определено, поэтому рассмотрим остальные вопросы.

Инженерно-сейсмологические изыскания

Для оценки напряженно-деформированного состояния тоннельных обделок при землетрясении необходимо в дополнение к инженерно-геологическим изысканиям осуществить инженерно-сейсмологические изыскания, в результате которых определяется ряд параметров, необходимых для расчета тоннельных конструкций.

Эти параметры и их оценка подробно изложены в приложении 1 [3].

Планировочные и конструктивные решения

Принятые в настоящее время положения по сейсмостойкому строительству, анализ поврежденных тоннелей при землетрясениях и научно-исследовательские и проектные разработки позволяют сформулировать ряд конкретных рекоменда-

ций по конструированию транспортных тоннелей.

Основные принципы конструирования тоннелей в сейсмических районах следующие:

- равномерное распределение сейсмических сил;
- снижение величины инерционных сейсмических сил;
- снижение деформативности и повышение жесткости обделки в плоскости поперечного сечения тоннеля;
- поглощение деформаций вдоль оси тоннеля.

Выполнение первого принципа – требование равномерного распределения сейсмических сил – достигается соблюдением симметричности и равномерного распределения масс и жесткостей в сооружении. Для перегонных тоннелей метрополитена данное требование выполняется практически всегда вследствие простоты формы поперечного сечения обделки и ее симметричности. Наилучшим образом этому условию удовлетворяют конструкции – одно- и двухпутные кольцевые обделки при закрытом способе работ. По этой же причине большей сейсмостойкостью при прочих равных условиях обладают одно-, двух- и трехсводчатые станции по сравнению со станциями открытого способа работ из сборных плоскостных элементов.

Обделка по длине отдельных участков тоннеля должна иметь единую и однородную по жесткости конструкцию. Частое изменение поперечного сечения тоннеля ухудшает его работу, так как в местах изменений сечения при землетрясениях наиболее вероятна концентрация напряжений.

При открытом способе работ при сборных перекрытиях целесообразно, как правило, устройство в уровне перекрытий железобетонных продольных поясов, которые не только служат связующим звеном между стенами и перекрытием, но и способствуют превращению сборного перекрытия в жесткую горизонтальную диафрагму.

Целесообразно сооружать нижнюю сплошную железобетонную плиту, которая будет выполнять функции распределительной конструкции и служить основанием тоннеля, обеспечивая совместную работу отдельных фундаментных элементов (блоков) обделки, распределяя сейсмические усилия по длине тоннеля.

Требование второго принципа – снижение величины инерционных сейсмических сил – выполняется облегчением собственного веса элементов обделки за счет использования легких бетонов, что позволяет уменьшить инерционные нагрузки от собственного веса на 10–15 %.

Требование третьего принципа состоит в повышении жесткости обделки и снижении, тем самым, деформативности

в плоскости поперечного сечения тоннеля; этому в большой степени отвечают замкнутые монолитные обделки перегонных тоннелей.

Требование последнего принципа – поглощение деформаций тоннельной конструкции при колебаниях, вызываемых продольными сейсмическими волнами, достигается применением специальных антисейсмических деформационных швов, обеспечивающих неразрушимость тоннеля в целом.

Перечисленные приемы конструирования принципиально изложены в разделе 2 «Руководства по проектированию подземных сооружений в сейсмических районах» [3] и подробно на конкретных примерах в фундаментальной монографии объемом 20 п. л. «Сейсмостойкость транспортных тоннелей» [5].



Расчет обделок на сейсмические воздействия

Основным условием достижения сейсмостойкости подземных сооружений с точки зрения расчетных требований является определение предельных состояний при сейсмическом воздействии.

В нормативных документах, действующих в нашей стране и некоторых других странах, предусмотрено использовать метод расчета конструкций по трем предельным состояниям.

Расчет по первому предельному состоянию (по несущей способности), который является основным, должен установить, что действующая предельная нагрузка не достигает того значения, при котором может произойти разрушение сооружения или его частей. Для этого наибольшее из ожидаемых в процессе эксплуатации усилий (продольная и поперечная силы, изгибающий момент и т. д.) сопоставляют с предельным усилием, опасным для сооружения.

Чтобы получить наибольшее ожидаемое усилие, вводят в расчет наиболее вероятные максимальные эксплуатационные (нормативные) нагрузки, умноженные на коэффициенты перегрузки, дифференцированные для различных нагрузок. Произведение какой-либо нормативной нагрузки на коэффициент перегрузки называют расчетной нагрузкой, а усилие, соответствующее действию на сооружение расчетных нагрузок, – расчетным усилием. Величину же предельного усилия назначают в зависимости от механических свойств материалов, показатель которых умножают на коэффициент однородности, меньший единицы, с тем чтобы практически исключить возможность разрушения конструкции вследствие случайного применения материала, обладающего пониженными свойствами по сравнению с нормативными. Кроме того, предельное усилие умножают на коэффициент условий работы. Однако сооружение, удовлетворяющее требованиям прочности и устойчивости, может получать деформации и мелкие повреждения (трещины), представляющие неудобства при его эксплуатации или сокращающие срок его службы. Поэтому при обычных расчетах конструкций выполняют также проверку по второму и третьему предельным состояниям – на деформации и трещиностойкость.

При выполнении расчетов на сейсмостойкость следует исходить из иных положений, а именно: во-первых, разрушительные землетрясения крайне редки и охватывают относительно небольшие территории, во-вторых, некоторые повреждения, не опасные для жизни людей и не представляющие затруднений для нормальной эксплуатации сооружения, значительно рациональнее устранять после происшедшего землетрясения, чем сильно удорожать сооружения в сейсмических районах в расчете на их полную непоколебимость.

Таким образом, исходя из основной цели обеспечения сейсмостойкости тоннелей – безопасной работы обделок в условиях землетрясения расчетной (наибольшей) балльности – проверку несущей способности элементов обделки при расчете подземных сооружений с учетом сейсмического воздействия следует выполнять по первому предельному состоянию (по несущей способности).

Не требуется, чтобы тоннельные сооружения, возводимые в сейсмических районах, не получали бы никаких повреждений при землетрясениях той силы, на которую они рассчитаны. Допускается, что в обделках могут появляться местные трещины и незначительные повреждения, но предусматриваемые мероприятия должны гарантировать надежность обделок в целом, поскольку выход их из строя может угрожать безопасности людей или сохранности ценного оборудования.

Допускаемое трещинообразование и проявление пластических деформаций играют положительную роль, во-первых, повышая коэффициент затухания колебаний и, во-вторых, увеличивая гибкость сооружения, период его свободных колебаний. И то, и другое приводят к уменьшению коэффициента динамичности, т. е. к уменьшению возникающих сейсмических усилий в конструкции.

Таким образом, расчет на сейсмостойкость производят лишь по первому предельному состоянию, причем при возникновении землетрясения расчетной балльности допускаются местные повреждения, ремонт которых не приведет к длительным перерывам в эксплуатации. В то же время более частые землетрясения, интенсивность которых меньше расчетной, не должны приводить к повреждениям основных тоннельных сооружений.

Методики расчета транспортных тоннелей представлены в нормативных документах [2, 3, 4], а также в монографии [5]. Основные идеи, заложенные в них, сводятся к следующему. Расчет обделок следует производить с учетом свойств окружающих тоннель грунтов и конструкции обделки методами теории упругости или строительной механики.

Обделки тоннелей глубокого заложения рассчитывают на одновременное действие сейсмических волн сжатия-растяжения и сдвига с учетом всех возможных их направлений в плоскости поперечного сечения тоннеля. Расчет обделок допускается производить на действие контактных напряжений, определяемых методами теории упругости как для монолитных обделок, а определение усилий производят методами строительной механики с учетом наличия шарнирных связей в стыках.

Расчет обделок участков тоннелей малого заложения, сооружаемых открытым способом, наиболее целесообразно вести на действие инерционных сил от масс грунта и собственного веса конструкций при вертикальном и горизонтальном направлениях сейсмического воздействия. При этом интенсивность горизонтального инерционного давления грунта определяют с учетом фактической податливости (смещения) стены конструкции.

Составляющую сейсмического воздействия, направленную вдоль оси тоннеля, рекомендуют учитывать конструктивно, устройством антисейсмических деформационных швов, расстояние между которыми определяют с учетом конструктивных особенностей тоннелей и динамических параметров, определяемых в процессе инженерно-сейсмологических изысканий.

Для реализации этих положений в нормах [3, 4] установлен общий порядок расчетов с учетом динамических воздействий, даются подробные методики и алгоритмы расчета.

Проектирование системы эксплуатации

На тоннелях, эксплуатируемых в сейсмических районах, необходимо создавать инженерно-сейсмометрическую службу.

Основным назначением создания комплекса сооружений и оборудования инженерно-сейсмометрической службы (ИСС) на тоннелях является получение и накопление данных о поведении обделки и окружающего грунта.

ИСС решает две основные задачи:

- определение динамических характеристик элементов обделок для анализа работы при землетрясении и уточнения положений расчета тоннелей на сейсмические воздействия для последующего проектирования;

- создание системы предупреждения неблагоприятных вторичных катастрофических последствий землетрясений путем установки аппаратуры для автоматического срабатывания сигнальных систем, отключения источников электропитания и включения средств пожаротушения при задаваемых пороговых уровнях колебаний грунта.

Комплекс сооружений и оборудования каждой станции ИСС включает:

- основные измерительные пункты, в которых устанавливается сейсмометрическая аппаратура;

- сооружения регистрационного комплекса, предназначенные для размещения регистрационной аппаратуры, осуществляющей прием сигналов от сейсмометрической аппаратуры, анализ и обработку записей колебаний;

- коммуникации между приборами и оборудованием измерительного и регистрационного комплекса.

Список литературы

1. Свод правил СП 14.13330.2011. *Строительство в сейсмических районах (Актуализированная редакция СНиП II-7-81*)*.
2. ВСН 193-81/ Минтрансстрой. *Инструкция по учету сейсмических воздействий при проектировании горных транспортных тоннелей. Согласована Госстроем СССР 28 июня 1979 г. № 1–1635*.
3. *Руководство по проектированию подземных сооружений в сейсмических районах (одобрено как «Инструкция» б. Минстроем РФ и б. Госстроем РФ)*. М. 1996.
4. Свод правил СП 268.1325800.2016. *Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования. Утв. Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 16.12.2016, № 968/пр*.
5. Дорман И. Я. *«Сейсмостойкость транспортных тоннелей»* М. Изд. ТИМР, 308 с.
6. *Федеральный закон №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»*.
7. ГОСТ 27751-2014 *Надежность строительных конструкций и оснований*.

Для связи с автором

Дорман Игорь Яковлевич
Igor.dorman@mail.ru





21 декабря 2022 г. отмечает юбилей член правления Тоннельной ассоциации России, заведующий кафедрой мостов и тоннелей Российского университета транспорта (МИИТ), доктор технических наук, профессор Александр Алексеевич Пискунов.

Пискунов Александр Алексеевич родился 21 декабря 1952 г. в г. Чистополь Татарской АССР.

В 1978 г. окончил Автодорожный факультет Казанского инженерно-строительного института (КИСИ) по специальности «Инженер путей сообщения».

После института участвовал в проектировании и строительстве города Набережные Челны и КАМАЗа, за что удостоен звания «Ударник строительства КАМАЗа», в г. Чистополе создавал и работал руководителем службы Единого заказчика и начальником ПМК-3 УС «Татэнергострой» Минэнерго СССР, работал в партийных органах инструктором Татарского ОК КПСС.

С 1996 г. Александр Алексеевич принимал участие в проектировании и строительстве мостового перехода через реку Кама у села Сорочьи Горы, возглавив службу заказчика, а затем оперативно-производственную группу, работая заместителем генерального директора ОАО «Волгомост», за что удостоен звания «Заслуженный строитель РТ» (2002 г.).

Под руководством А. А. Пискунова в 2003 г. в КГАСУ была создана кафедра мостов и транспортных тоннелей. Организация кафедры была вызвана необходимостью подготовки инженерных кадров для проектирования, строительства и эксплуатации мостовых сооружений, а также Казанского метрополитена в Республике Татарстан.

Впоследствии принимал активное участие в строительстве моста Миллениум в Казани, в проектировании дорог и мостов в Московской, Ростовской, Калужской, Брянской, Курской областях, Приморском крае, городах Казани, Сочи, Великом Новгороде, Уссурийске, республиках Татарстан и Башкортостан.

В 2008 г. Александр Алексеевич защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Математическое моделирование напряженно-деформированного и предельного состояния сложных конструкций с учетом их взаимодействия с грунтовым массивом в мостостроении»

С 2011 г. А. А. Пискунов участвовал в проектировании и строительстве Московского метрополитена, работая директором по управлению проектированием объектов метрополитена ОАО «Мосинжпроект», а с 2016 г. на проектировании и строительстве перегонных тоннелей и станции «Стрелка» Нижегородского метрополитена.

С 2018 г. и по настоящее время Александр Алексеевич занимает должность профессора и заведующего кафедрой мостов и тоннелей РУТ (МИИТ). Приказом Министерства науки и высшего образования 12 октября 2022 г. А. А. Пискунов назначен председателем совета № 40.2.002.10 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук и доктора наук по научным специальностям:

- 2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

За многолетний добросовестный труд Александр Алексеевич награжден многочисленными почетными грамотами и благодарностями, медалью «В память 1000-летия Казани», в 2004 г. он становится лауреатом Государственной премии Республики Татарстан в области науки и техники, в 2021 г. отмечен Юбилейным памятным знаком РУТ (МИИТ) «В ознаменование 125-летия Императорского Московского инженерного училища».

А. А. Пискунов принимает активное участие в работе Тоннельной ассоциации России и в публикациях журнала «Метро и тоннели».

Правление Тоннельной ассоциации России и коллектив редакции журнала «Метро и тоннели» поздравляют замечательного ученого инженера-метростроителя с юбилеем, желают крепкого здоровья и свершения новых прогрессивных технических решений в нашем уникальном тоннельном деле.

ОБОСНОВАНИЕ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ

SUBSTANTIATION OF SPACE-PLANNING SOLUTIONS OF METRO STATIONS BY METHODS OF MATHEMATICAL MODELING OF PASSENGER TRAFFIC

Д. Е. Шабунина, В. П. Чижиков, А. И. Данилов, ООО «Центр исследований опасных факторов пожара»
D. E. Shabunina, V. P. Chizhikov, A. I. Danilov, LLC «Center for Research of Hazardous Factors of Fire»

Объемно-планировочные решения станций метрополитена влияют на стоимость строительства, эксплуатации и на удобство и безопасность пассажиров. В статье рассмотрено влияние объемно-планировочных решений на организацию движения пассажиров. Математическое моделирование пассажиропотоков является перспективным методом для обоснования объемно-планировочных решений станций метрополитена. В работе приведена математическая модель типовой пересадочной станции метрополитена с исходными и оптимизированными объемно-планировочными решениями станции.

Space-planning solutions of subway stations effect on the cost of construction, the cost of operation and on the comfort and safety of passengers. The paper considers the influence of space-planning solutions on the organization of passenger traffic. Mathematical modeling of passenger flow is a perspective method for justification of space-planning solutions for subway stations. The paper presents a mathematical model of a typical interchange subway station with initial and optimized space-planning solutions of the station.

Метрополитен является одним из самых важных видов общественного транспорта во всем мире. По сравнению с другими общественными транспортами, метрополитен имеет собственные отличительные характеристики, включающие высокую скорость, пропускную способность, своевременное обслуживание и однозначные маршруты (не подвержен влиянию других транспортных систем) [1, 2]. По данным Московского метрополитена, ежедневно им пользуется более 7 млн человек [3]. При резком увеличении пассажиропотока в будущем существующие станции могут столкнуться с проблемой перенасыщения пассажирами, если не будет изменена концепция разработки объемно-планировочных решений новых станций.

СП 120.13330.2012 «Метрополитены» [4] предъявляет требования к объемно-планировочным решениям проектируемых станций метрополитена, включая ширину платформ, лестниц, количество эскалаторов и турникетов, пропускную и привозную способность станций метрополитена, суммарный пассажиропоток в часы пик и количество вестибюлей и эвакуационных выходов. Например, СП 120.13330.2012 [4] регламентирует, что число вестибюлей станций метрополитена следует определять расчетом в зависимости от величины максимальных расчетных пассажирских потоков. При этом не приводятся ни кри-



Рис. 1. Модель типовой пересадочной станции в ПК Pathfinder

терии достаточности, ни методы расчёта, позволяющие обосновать необходимое количество вестибюлей.

Для определения суммарного пассажиропотока в часы пик за интервал движения между поездами в СП 120.13330.2012 [4] приводится формула:

$$\Pi = \Pi_{\text{пут}} + \Pi_{\text{вх}} + \Pi_{\text{п}}, \quad (1)$$

где Π – суммарный пассажиропоток, тыс. чел/ч;

$\Pi_{\text{пут}}$ – пассажиропотоки соответственно для 1-го или 2-го пути, тыс. чел/ч (принимается максимальный);

$\Pi_{\text{вх}}$ – суммарный пассажиропоток входа с поверхности, тыс. чел/ч;

$\Pi_{\text{п}}$ – пассажиропоток со смежной линии, тыс. чел/ч (для пересадочной станции).

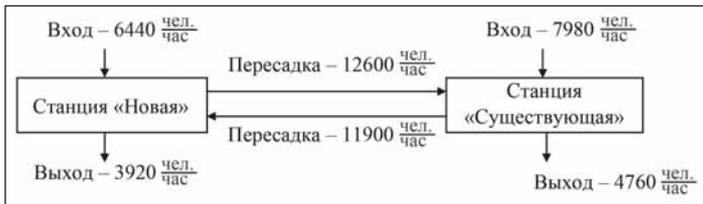


Рис. 2. Значения пассажиропотоков на входы, выходы и пересадки

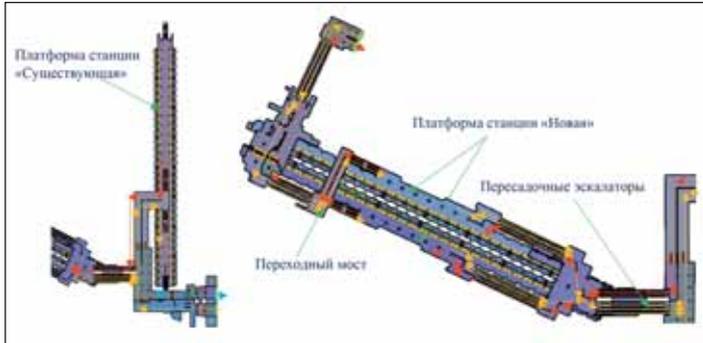


Рис. 3. Пути движения пассажиров по исходным объемно-планировочным решениям

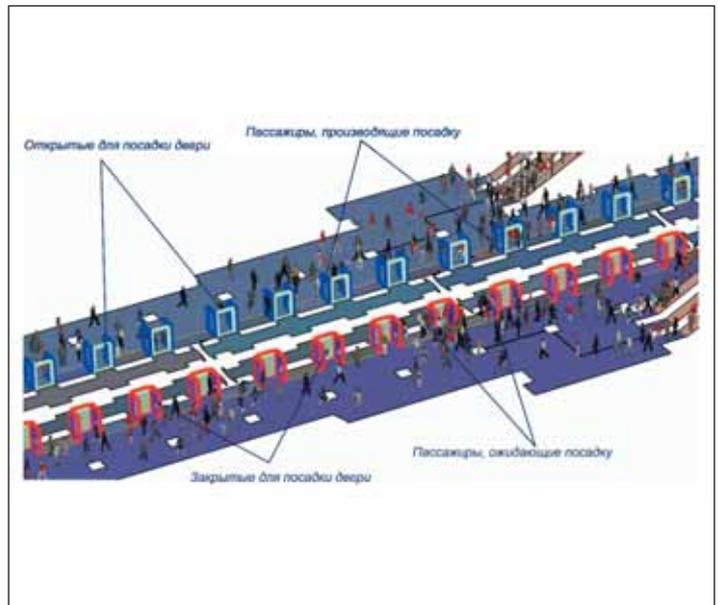


Рис. 4. Принцип моделирования входа и выходов пассажиров из поезда

Приведенный метод не дает исходных данных по количеству людей для проведения расчета безопасной эвакуации, то есть нельзя в начальный момент времени эвакуации сказать, сколько людей будет находиться в определенном месте. Таким образом, любые расчеты эвакуации, которые сегодня проводятся, являются необоснованными по исходным данным о прогнозируемом количестве людей, вовлеченных в расчетный сценарий пожара [5, 6].

Скорость движения людского потока зависит от плотности их движения и группы мобильности пассажиров. В учебном пособии [7] приводятся эмпирические зависимости скорости людского потока от его плотности при движении по горизонтальным путям здания, лестничным сходам вниз и вверх. Общая тенденция показывает, что при увеличении плотности людей уменьшается скорость людского потока на любом объекте топологии. Для учета этих параметров перспективным является метод моделирования, позволяющий учитывать индивидуальные параметры людей разных групп мобильности, скорости движения на эскалаторах, лестницах, в проемах и на горизонтальных путях движения [8–10].

ФЗ N 384-ФЗ [5] указывает, что соответствие проектных значений и характеристик здания или сооружения требованиям безопасности, может быть обосновано исследованиями, моделированием, расчетами и испытаниями, выполненными по апробированному иному способу методикам. Таким образом, в качестве обоснования объемно-планировочных решений станций метрополитена предложено математическое моделирование.

Метод математического моделирования

В качестве примера обоснования объемно-планировочных решений станции смоделирован прототип современной пе-

ресадочной станции, состоящей из станции «Существующая», построенной до 2000 г., и современной станции «Новая» (рис. 1). Приняты усредненные значения пассажиропотоков на входы, выходы и пересадки (рис. 2).

Пути движения пассажиров по типовой пересадочной станции, согласно исходным объемно-планировочным решениям, представлены на рис. 3.

При спуске с пересадочных эскалаторов пассажиры распределяются по первому и второму пути станции «Новая», образуя пересечение потоков с пассажирами, движущимися на пересадку в сторону станции «Существующая» и объединяющимся с потоком пассажиров, вошедших в кассовый зал вестибюля станции «Существующая». Образовавшееся пересечение потока противоречит требованиям СП 120.13330.2012 [4].

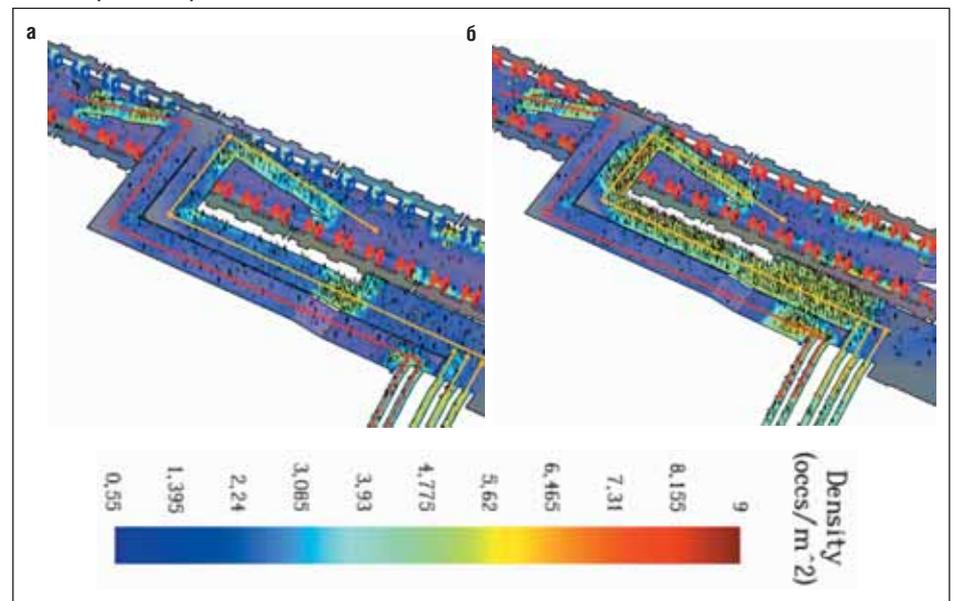
Принцип моделирования входа и выходов пассажиров из поезда представлен на рис. 4. Интервал времени на выход пассажиров из вагона – 10 секунд, интервал времени на вход пассажиров в вагон – 10 секунд. С учетом 40 пар поездов в час [4], время между прибытиями поездов – 90 секунд.

Результаты моделирования пассажиропотоков

На рис. 5 представлены результаты моделирования пассажиропотока на 500 и 1000 секунде от начала расчета по исходным объемно-планировочным решениям. Видно, что на 1000 секунде образуется скопление пассажиров с плотностью порядка 5 чел/м² на лестнице, расположенной на переходе между двумя станциями.

Результаты моделирования количества пассажиров в кассовых залах вестибюлей и на платформах, согласно исходным объ-

Рис. 5. Моделирование пассажиропотоков: а – на 500 секунде; б – на 1000 секунде по исходным объемно-планировочным решениям



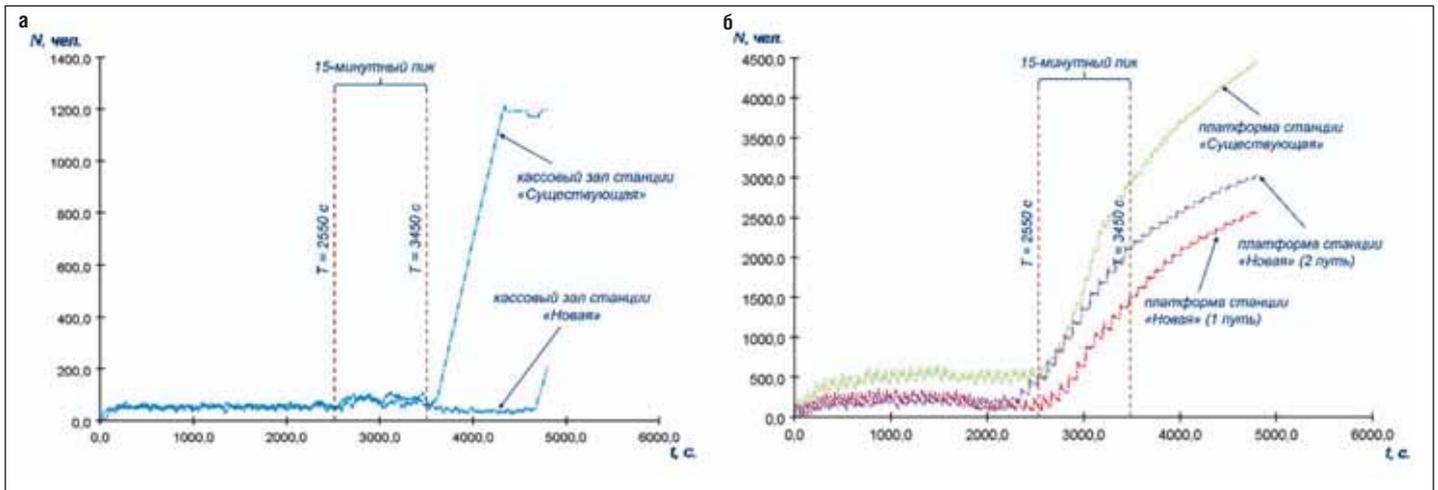


Рис. 6. Количество пассажиров, согласно исходным объемно-планировочным решениям: а – в кассовых залах вестибюлей; б – на платформах

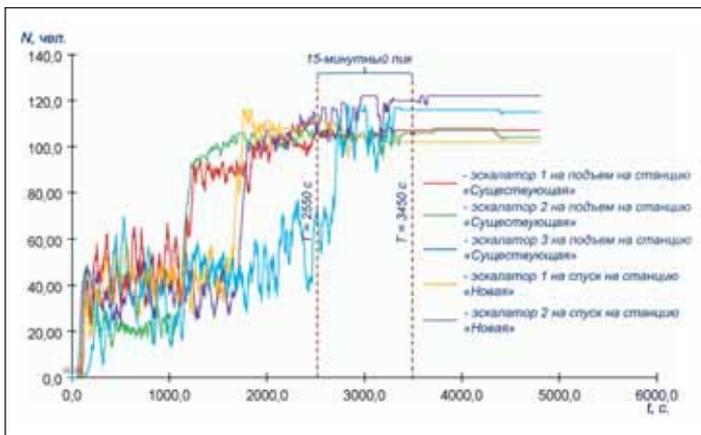


Рис. 7. Количество пассажиров, согласно исходным объемно-планировочным решениям, на пересадочных эскалаторах

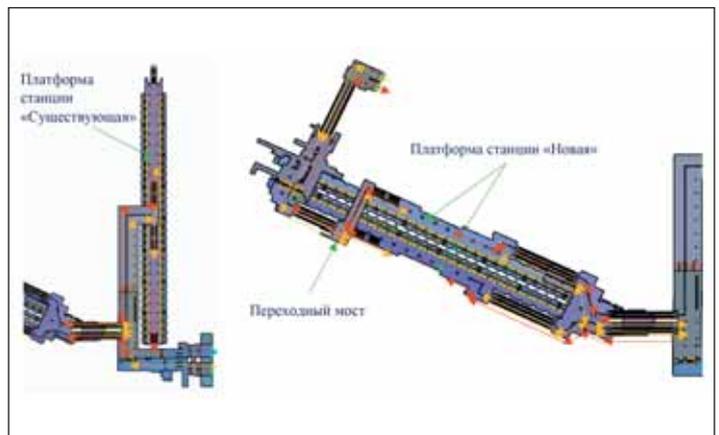


Рис. 8. Пути движения пассажиров по оптимизированным объемно-планировочным решениям

емно-планировочным решениям, показали, что количество людей, находящихся на станциях, остается постоянным до начала пика (рис. 6). В интервале 15-минутного пика лестница, ведущая на станцию «Существующая», не обеспечивает требуемую пропускную способность, и происхо-

дят скопления на всех топологиях, включая, в первую очередь, вестибюль станции «Существующая».

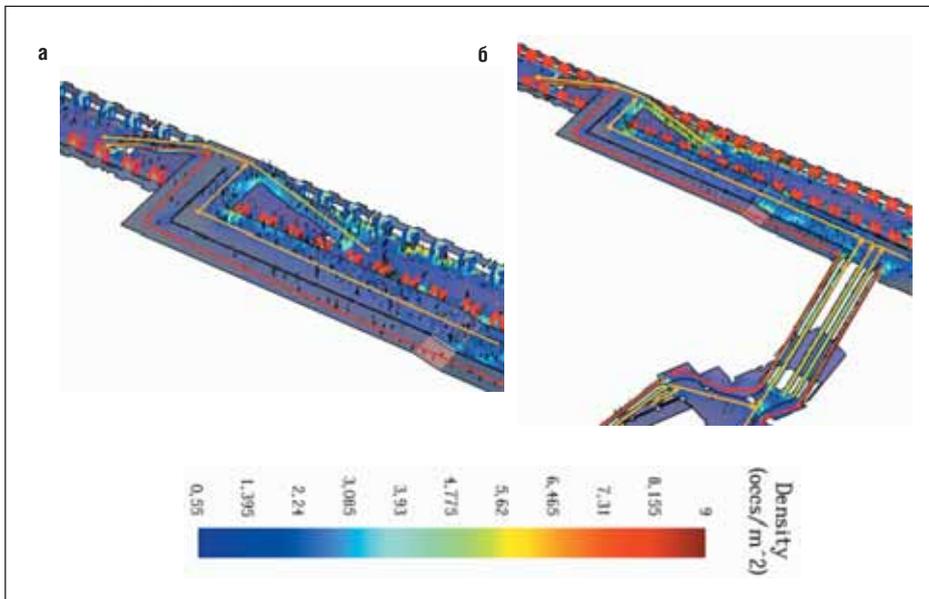
Результаты моделирования количества пассажиров на эскалаторах между станциями, согласно исходным объемно-планировочным решениям, показали, что эс-

калаторы обеспечивают требуемую пропускную способность до 1100 секунды (рис. 7). Из-за скопления людей на топологии перед эскалаторами после 1100 секунды количество людей на них резко увеличивается, что приводит к остановке эскалатора.

К «узкому» месту прототипа пересадочной станции относится лестница при переходе со станции «Новая» и при проходе пассажиров, вошедших в кассовый зал станции «Существующая», которая не обеспечивает требуемую пропускную способность. Также установлено, что необходимо регулировать пассажиропотоки ограждениями для их разделения и оптимально принимать направления движения по лестницам и эскалаторам.

Методом математического моделирования проведены оптимизационные мероприятия пассажиропотоков типовой пересадочной станции: увеличены габариты лестницы, ведущей на станцию «Существующая», установлены ограждения для разделения пассажиропотоков и приняты оптимальные направления движения пассажиров по лестницам и эскалаторам (рис. 8). Пассажиры, вышедшие с поездов на двух путях станции «Новая» и поднимающиеся на станцию «Существующая» по трем пересадочным эскалаторам, объединяются с потоком пассажиров,

Рис. 9. Моделирование пассажиропотоков: а – на 500 секунде; б – на 1000 секунде по оптимизированным объемно-планировочным решениям



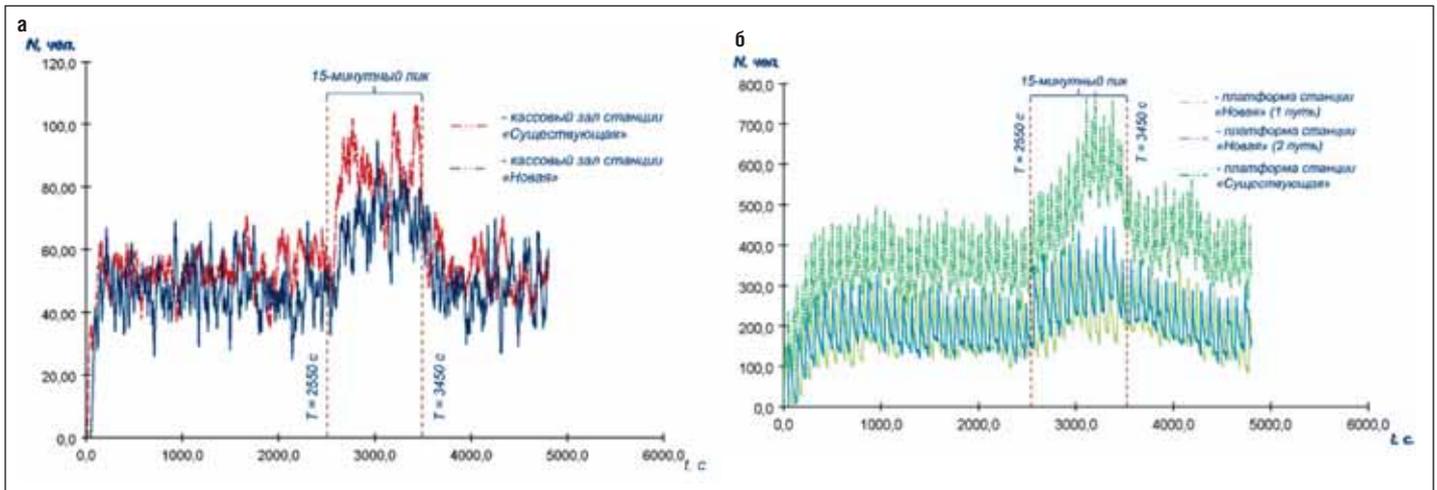


Рис. 10. Количество пассажиров, согласно оптимизированным объемно-планировочным решениям: а – в кассовых залах; б – на платформах

вошедших в кассовый зал вестибюля станции «Существующая». Видно, что на предэскалаторной зоне не возникает пересечения потоков. Таким образом, оптимизированные объемно-планировочные решения выполняют условие непересечения потока, регламентированное в СП 120.13330.2012 [4].

На рис. 9 представлены результаты моделирования пассажиропотока на 500 и 1000 секунде от начала расчета по оптимизированным объемно-планировочным решениям. Видно, что скопление людей пассажиров с плотностью порядка 5 чел/м² отмечается только на лестнице, ведущей на станцию «Существующая».

Результаты моделирования количества пассажиров в кассовых залах вестибюлей и на платформах, согласно оптимизированным объемно-планировочным решениям, показали, что количество людей на данных топологиях остается постоянным до начала пика (рис. 10). В интервале 15-минутного пика происходит увеличение числа пассажиров и в кассовых залах вестибюлей, и на платформах. По его окончании количество людей стабилизируется без образования скоплений.

Результаты моделирования количества пассажиров на эскалаторах между станциями, согласно оптимизированным объемно-планировочным решениям, показали, что эскалаторы обеспечивают требуемую пропускную способность на протяжении всего моделирования (рис. 11). В интервале 15-минутного пика видно увеличение числа пассажиров на эскалаторах. По его окончании количество людей на эскалаторах стабилизируется без образования скоплений.

Заключение

Математическое моделирование пассажиропотоков является перспективным методом для анализа принимаемых объемно-планировочных решений, позволяющим обосновать достаточность объемно-планировочных решений, оптимизировать пути движения пассажиров в зависимости от топологии и пассажиропотоков, определить количество людей на каждом эле-

менте станции метрополитена, которое используется как исходные данные для расчетов эвакуации людей при пожаре.

Потенциалом предлагаемого метода является применение моделирования потоков людей не только для метрополитенов, но и для любых транспортных и общественных сооружений.

Ключевые слова

Метрополитен, пассажиропоток, безопасность, объемно-планировочные решения, математическое моделирование, пропускная способность.

Subway, passenger flow, safety, space-planning solutions, mathematical modeling, traffic capacity.

Список литературы

- Leng B, Zeng J, Xiong Z, Lv W, Wan Y. Probability tree based passenger flow prediction and its application to the Beijing subway system // *Frontiers of Computer Science*. 2013. № 7(2). DOI:10.1007/s11704-013-2057-y.
- LIANG X, QIN H, XIE M. Simulation Study of Passenger Flow Characteristics in Subway Passage // *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*. 2016. (cimsam). DOI:10.12783/dicse/cmsam2016/3565.
- Статистика. Пассажиропоток в метро за 2019 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metro-msk.ru/stat/2019/> (дата обращения: 21.11.2022).
- СП 120.13330.2012. Метрополитены. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095542> (дата обращения: 19.11.2022).
- Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 N 384-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/?ysclid=laqpw1pu6t958852954 (дата обращения: 21.11.2022).

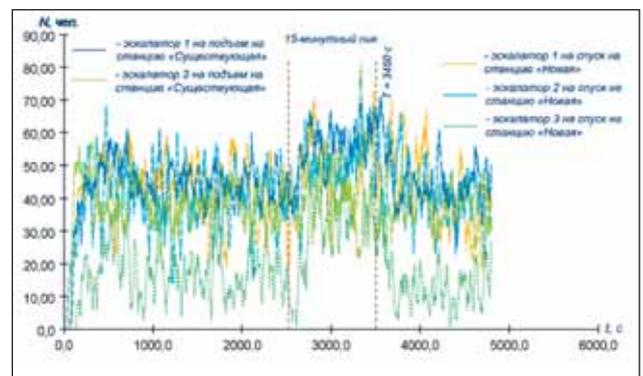


Рис. 11. Количество пассажиров, согласно оптимизированным объемно-планировочным решениям, на пересадочных эскалаторах

б. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 9.10.2021).

7. Эвакуация и поведение людей при пожаре: учеб. пособие / Холицевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – 262 с.

8. Xu X, Li H, Liu J, Ran B, Qin L. Passenger flow control with multi-station coordination in subway networks: algorithm development and real-world case study // *Transportmetrica B*. 2019. № 7(1). p. 446–472. DOI:10.1080/21680566.2018.1434020

9. Ling X, Huang Z, Wang C, Zhang F, Wang P. Predicting subway passenger flows under different traffic conditions // *PLoS ONE*. 2018. № 13(8). p. 1–23. DOI:10.1371/journal.pone.0202707.

10. Sun Y, Zhang G, Yin H. Passenger flow prediction of subway transfer stations based on nonparametric regression model // *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2014. № 2014(1). p. 1–8. DOI:10.1155/2014/397154.

Для связи с авторами

Шабунина Дарья Евгеньевна
d.shabunina00@gmail.com
Чижиков Владимир Петрович
info@ciof.ru
Данилов Андрей Игоревич
danilov@ciof.ru

СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО КЕРАКСКОГО ТОННЕЛЯ НА ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

CONSTRUCTION OF A NEW KERAK TUNNEL ON THE TRANS-BAIKAL RAILWAY

А. А. Перегудов, С. С. Батиенко, Д. Ю. Лаппи, ООО «СпецСитиСтрой»
A. A. Peregudov, S. S. Batienko, D. Y. Lappi, SpetsCityStroy

В 2020 г. в рамках программы по комплексной модернизации инфраструктуры ОАО «РЖД» началось строительство двухпутного тоннеля в Амурской области. Новый железнодорожный тоннель располагается рядом со старым, построенным в 1910–1911 гг. Керакским тоннелем.

Объект запроектирован институтом «Сибгипротранспут» с привлечением субподрядных проектных организаций ООО ПИИ «Бамтоннельпроект» и «Гипротрансигналсвязь». Генеральным подрядчиком строительства является ООО УК «БамСтройМеханизация», строительные-монтажные работы производятся ООО «СпецСитиСтрой».

In 2020, as part of the program for the comprehensive modernization of the infrastructure of Russian Railways, the construction of a double-track tunnel in the Amur Region began. The new railway tunnel is located next to the old Kerak tunnel, built in 1910–1911. The facility was designed by the Institute Sibgiprotransput with the involvement of subcontracting design organizations LLC FDI Bamtonnelproekt and Giprotranssignalsvyaz. The general contractor of the construction is LLC MC BamStroyMekhanizatsiya, construction and installation works are carried out by LLC SpetsCityStroy.

Существующий двухпутный железнодорожный тоннель расположен в Сковородинском районе Амурской области РФ, на перегоне Ковали – Ульручи Забайкальской железной дороги, в 22,5 км на юго-восток от г. Сковородино. Действующая железнодорожная линия тоннелем пересекает Петровский хребет.

Существующий тоннель протяженностью 910 м был построен в 1910–1911 гг. под два пути габарита 1-С колеи 1524 мм. В плане тоннель расположен на прямой, а в профиле является двускатным с уклонами: 3,7‰ (349 м) – к Западному порталу, далее горизонтальный участок (220 м) и 3,9‰ (344 м) – к Восточному порталу. Весь тоннель разделен строительными швами на 106 колец, изначально выполненных из камня – порфирита, а кладочные ряды – в пятах, четвертях и замке – из гранита. Четыре кольца (№ 1, 2, 3, 106) были облицованы гранитным камнем грубой тески (рис. 1).

Путь в тоннеле – звеньевой, на деревянных шпалах, на балласте с костыльным скреплением и рельсами Р-65. Вентиляция в тоннеле с естественным побуждением через порталы сооружения.

В разные годы эксплуатации в тоннеле выполняли работы по его осушению и реконструкции с целью ликвидации верхней и боковой негабаритности. В 1984 г. после устройства однопутной вставки по тоннелю и установки кружал, выполнена разработка нечетной стороны тоннеля горным способом для уширения его под габарит «С». Реконструированная часть обделки была выполне-



Рис. 1. Вид на портал Керакского тоннеля 1911 г. постройки

на из монолитного бетона марки 300, класс по морозостойкости Мрз – 300.

Гидроизоляция в тоннеле отсутствует, водоотводный лоток расположен в междупутье по оси тоннеля, поэтому с целью уменьшения обводненности справа и слева от него пройдены дренажные штольни общей протяженностью 1880 м.

На данный момент состояние обделки тоннеля и дренажных штолен оценивается как ограниченно работоспособное. После завершения строительства и перевода движения поездов на новый тоннель, существующий будет переустроен в эвакуационное и дренажное сооружение.

Инженерно-геологические условия по оси нового тоннеля оцениваются как сложные III категории. Тоннель сооружается в коренных терригенно-осадочных породах юрского возраста, прорванными интрузиями гранодиоритов мелового возраста (алевритистый песчанник от малопрочного до прочного и очень прочного с малоощными дайками гранодиорит-порфира), коэффициент крепости по шкале проф. Протодакенова $f = 1-14$.

Новый Керакский тоннель запроектирован двухпутным, его длина составит 926,88 м. В профиле он будет двускатным, а в плане трасса тоннеля имеет кривую со стороны Западного портала длиной 79 м и радиусом 900 м. Вну-

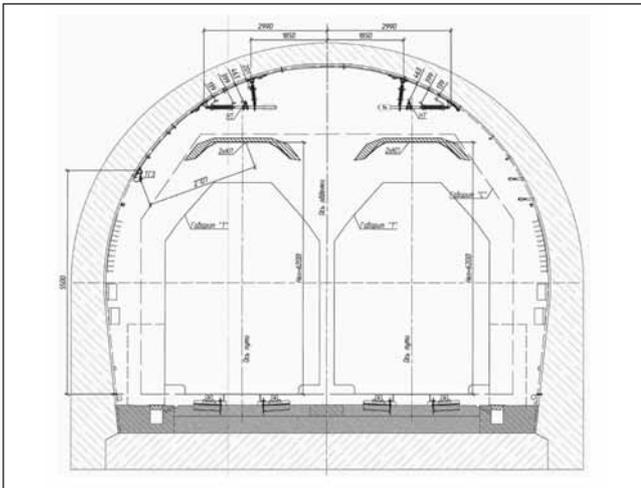


Рис. 2. Поперечное сечение нового двухпутного Керакского тоннеля

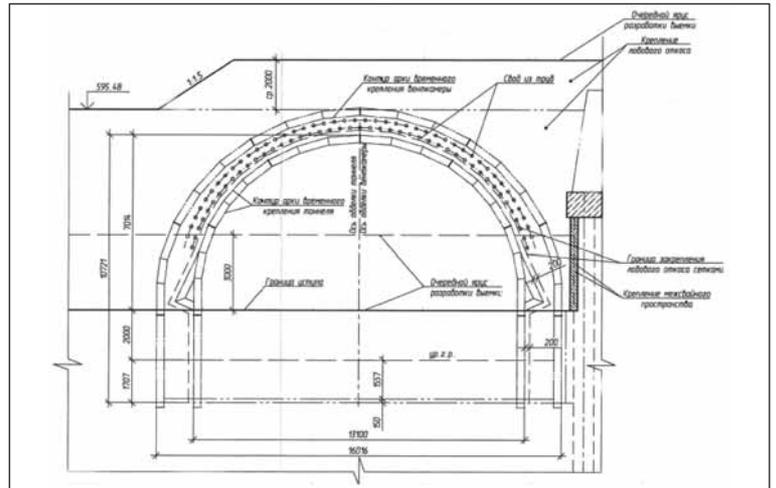


Рис. 3. Временное крепление в припортальных участках

треннее очертание тоннельной обделки предполагает соответствие современным требованиям пропуска железнодорожных составов, а именно габариту приближения строений «С» для электрифицированных линий (рис. 2).

Проектом также в соответствии с требованиями СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные» предусмотрено сооружение 24 ниш, 15 камер и эвакуационной сбойки с существующим тоннелем, который после производства работ по усилению обделки будет эксплуатироваться в качестве эвакуационно-дренажного сооружения.

До начала проходческих работ в припортальных выемках Западного и Восточного порталов тоннеля выполняются укрепительные мероприятия, включающие устройство расчетного крепления лобовых и боковых откосов и сооружение опережающих защитных экранов из труб на врезных его участках (рис. 3). Бурение горизонтальных скважин при устройстве экрана из труб производилось с помощью бурового станка «Стерх» СБГ-ПМ-03.

Ввиду неоднородности инженерно-геологических условий по трассе тоннеля проектной документацией предусмотрена его проходка уступным способом с разработкой грунта буровзрывным способом в слаботрециноватых устойчивых грунтах и механизированным, на участках слабой устойчивости.

При этом ввиду достаточной близости взаимного расположения эксплуатируемого существующего тоннеля и строящегося нового, с целью исключения негативного воздействия взрывных работ на порталные конструкции, верхнее строение пути, контактную сеть и прочие инженерно-технические сооружения и обустройства действующего тоннеля, врезка и проходка нового тоннеля на припортальных участках будет осуществляться исключительно механизированным способом. Помимо этого, для объективной оценки негативного влияния работ, производимых при проходке нового тоннеля, специалистами ООО «Бамтоннель» производились работы по горно-экологическому мониторингу, который позволяет выявлять малейшие отклонения колебаний несущих конструкций существующего тоннеля, вызванных производством буровзрывных работ, от максимально допустимых показателей.

Торжественный старт проходческими работам был дан 30 июля 2021 г. Мероприятие состоялось при непосредственном участии руководства ОАО «РЖД» и правительства Амурской области.

Проходка тоннеля на участках врезки со стороны Западного и Восточного порталов, а также в слабоустойчивых зонах интенсивного дробления пород, осуществлялась механизированным способом. Разработка грунта производилась рыхлением гидромолотом на базе тоннельного экскаватора Liebherr R 924 Compact Tunnel Litronic заходками по 1 метру (рис. 4).

Проходка на участках устойчивых слаботрециноватых пород осуществлялась буровзрывным способом с помощью неэлектрической системы инициирования «Искра-Старт» заходками по 2 м. Для бурения забойных шпуров применялись самоходные буровые установки Sandvik DT 821



Рис. 4. Разработка грунта механизированным способом

Рис. 5. Оборудование для бурения шпуров для взрывных работ





Рис. 6. Погрузка породы после взрыва

и Resemin Troidon 88 Dual, оснащенные самыми современными средствами для высокопроизводительного и высокоточного бурения в автоматизированном режиме (рис. 5).

Погрузка разработанного грунта осуществлялась при помощи специализированной подземной погрузочно-доставочной машины Sandvik LH 410 с последующей откаткой до площадок временного складирования и перегруза грунта подземными автопоездами МоАЗ 74051-9586 (рис. 6).

В зависимости от фактических инженерно-геологических условий при производстве проходческих работ проектной документацией предусмотрено три типа временного крепления выработки. При механизированном способе разработки грунта, в условиях неустойчивого грунтового массива, возводилась аркобетонная временная крепь из двутавра № 30Б2 с заполнением бетоном кл. В25F300W6 на участках врезки, в том числе под защитой экрана из труб и двутавра № 20Б1 на участках с интенсивными структурными тектоническими нару-

шениями (рис. 7). Кроме того, на участках с аркобетонным временным креплением для повышения устойчивости разрабатываемого грунтового массива (забоя) был предусмотрен ряд специальных мероприятий, а именно: закрепление лба забоя путем нанесения защитного слоя из набрызг-бетона, устройство опережающего крепления из сталеполимерных анкеров $l = 3,0$ м из арматурной стали диаметром 32 кл. А400, установка в основании монтируемых арок временного крепления самозабуривающихся анкеров МАI SDA диаметром 38 мм для предотвращения просадок (вертикальных перемещений) временного крепления при последующей разработке грунта нижнего уступа.

На участках крепких устойчивых грунтов, при проходке буровзрывным способом, в качестве временного крепления применено покрытие из набрызг-бетона с дополнительным усилением арматурными арками из стержней диаметром 14 кл. А400 (рис. 8). Устройство данного типа крепления подразумевает два основных этапа: нанесение защитного слоя набрызг-бетона непосредственно после уборки породы и последующее послойное нанесение набрызг-бетона по установленным арматурным аркам.

Нанесение набрызг-бетонной крепи производилось при помощи самоходной торкрет-установки JACON MIDJET МК-4,5.

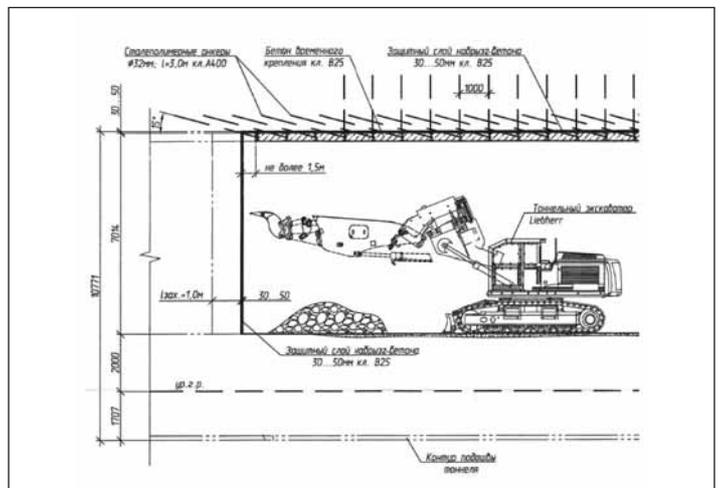
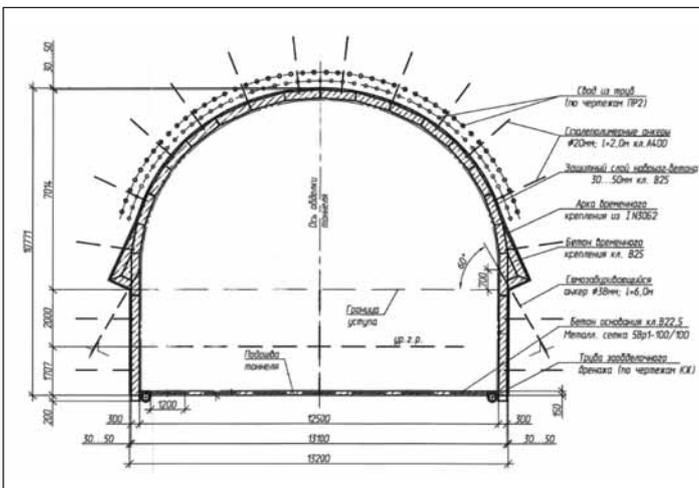


Рис. 7. Временное крепление при механизированном способе разработки грунта в условиях неустойчивого грунтового массива

Рис. 8. Нанесение набрызг-бетонной крепи

Рис. 9. Установка сталеполимерных анкеров $l = 2,0$ м

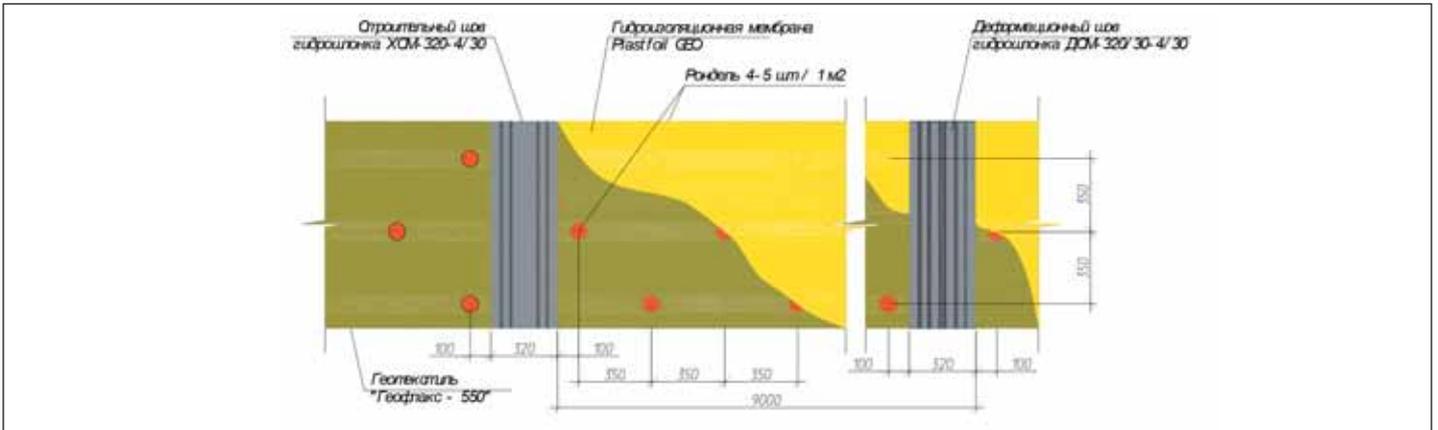


Рис. 10. Конструкция гидроизоляции

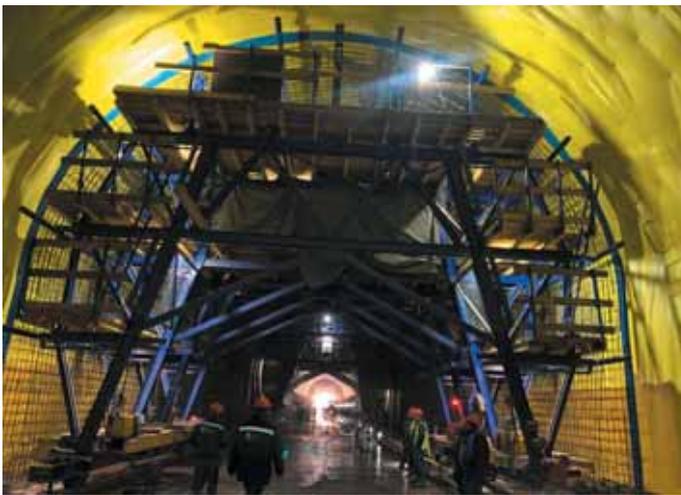


Рис. 11. Монтаж арматурных каркасов с технологической тележки порталного типа



Рис. 12. Передвижная механизированная опалубка «ГАММА»

Для раскрепления в грунтовой массив, при монтаже арок временного крепления, применялись сталеполимерные анкеры $l = 2,0$ м из арматурной стали диаметром 20 кл. А400, с механизированной установкой при помощи анкероустановщика револьверного типа на базе Resemin Troidon 88 Dual (рис. 9).

Проходка тоннеля была завершена в июне 2022 г. Мероприятие прошло при непосредственном участии руководства ОАО «РЖД», правительства Амурской области и министерства транспорта Российской Федерации. В торжественной обстановке комиссия под представительством Олега Валентиновича Белозёрова и Виталия Геннадьевича Савельева отдала команду на финальный взрыв.

Вслед за завершением работ по проходке верхнего уступа тоннеля специалисты ООО «СпецСитиСтрой» приступили к комплексу работ по сооружению постоянной обделки тоннеля.

Рабочей документацией предусмотрено сооружение замкнутой железобетонной монолитной обделки подковообразного сечения, разделенной на типы с различной несущей способностью, в соответствии с фактическими инженерно-геологическими условиями, выявленными в процессе проходки тоннеля.

В процессе возведения постоянной обделки тоннеля предусмотрен конструктивный

слой гидроизоляции из полимерной мембраны Plastfoi GEO, с секционным зонированием изолируемой поверхности гидроизоляционными шпонками «АКВАСТОП» по деформационным и строительным швам, расположенной между временной крепью и постоянной обделкой тоннеля (рис. 10).

Монтаж гидроизоляционной мембраны производится с технологической тележки порталного типа на рельсовом ходу, входящей в состав комплекса механизированной опалубки «ГАММА».

Армирование постоянной обделки производится путем сборки из заранее заготовленных арматурных каркасов с увязкой продольной рабочей арматурой. Монтаж арматурных каркасов ведется с технологической тележки порталного типа (рис. 11) на рельсовом ходу, входящей в состав комплекса механизированной опалубки «ГАММА».

Бетонирование постоянной обделки тоннеля выполняется в направлении от Восточного портала к Западному. Для сооружения обделки применяется передвижная механизированная опалубка «ГАММА» длиной обечайки $L = 9$ м (рис. 12). Данная механизированная опалубка для двухпутного тоннеля была сконструирована и изготовлена впервые. Благодаря модульной конструкции облочки, конструкция опалубки предусматривает модернизацию под различные типораз-

меры, в том числе уширенного очертания для сооружения тоннельной обделки на участке железнодорожной горизонтальной кривой $R-900$ м, предусмотренной со стороны Западного портала нового тоннеля.

Укладка бетона за опалубку производится бетононасосами SAIDY HBT50-13SE. Подача бетона в приемные окна опалубки ведется по проложенным звеньям бетонопроводов, диаметром 159 мм, оборудованных быстросъемными соединениями.

Доставка готовой бетонной смеси к местам укладки осуществляется автобетоносмесителями типа Transmix-X5 фирмы Jacon.

Пуск движения по новому тоннелю запланирован в 2024 г. Ввод нового Керакского тоннеля в эксплуатацию обеспечит бесперебойную поставку грузов и увеличит пропускную способность участка Транссиба – до 153 пар поездов в сутки (на 25 %). Скорость поездов при этом вырастет до установленной. Кроме того, существенно снизятся затраты на содержание сооружения.

Для связи с авторами

Перегудов Андрей Анатольевич
peregudov@speccitystroy.ru
Батиенко Сергей Сергеевич
batienko.ss@speccitystroy.ru
Лаппи Диана Юрьевна
lappi.dy@speccitystroy.ru



МЕХАНИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС «ПОТОК» ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМ «ГАММА» ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КЕРАКСКОГО ТОННЕЛЯ

MECHANIZED COMPLEX «POTOK» OF FORMWORK SYSTEMS «GAMMA» FOR THE CONSTRUCTION OF THE KERAK TUNNEL

М. Я. Бунт, Е. Г. Гурин, ООО «Техноком-БМ»
А. Р. Попонин, Тоннельная ассоциация России

M. Y. Bunt, E.G. Gurin, LLC «Technocom-BM»
A. R. Poponin, Russian Tunneling Association



В рамках программы развития Восточного полигона Российских железных дорог предполагается строительство и реконструкция целого ряда сооружений для увеличения пропускной способности Транссибирской магистрали. Одним из таких сооружений стал Керакский тоннель.

Непосредственное участие в строительстве и реконструкции приняла отечественная компания «ТЕХНОКОМ-БМ», которая занималась проектированием и изготовлением механизированного комплекса для бетонирования постоянной обделки тоннеля.

Основной агрегат комплекса «ПОТОК» – самоходная гидравлическая опалубка, особенностью которой является механизированное изменение ширины сечения для бетонирования прямолинейных и криволинейных участков тоннеля непосредственно внутри сооружения.

As part of the development program for the Eastern Range of Russian Railways, it is planned to build and reconstruct a number of facilities to increase the throughput capacity of the Trans-Siberian Railway. One of these structures was the Kerak's Tunnel. Direct participation in the construction and reconstruction was taken by the domestic company TECHNOCOM-BM, was engaged in the design and manufacture of a mechanized complex for concreting the permanent lining of the tunnel. The company was given the extraordinary task of transforming the formwork from a double-track tunnel to a single-track one. For the first time in the world, a unique solution was proposed in the construction of tunnel formwork. The main unit of the «POTOK» complex is a self-propelled hydraulic formwork, a feature of which is a mechanized change in the section width for concreting straight and curved sections of the tunnel directly inside the structure.

В рамках программы развития Восточного полигона Российских железных дорог предполагается строительство и реконструкция целого ряда сооружений для увеличения пропускной способности Транссибирской магистрали.

Одним из таких сооружений стал Керакский тоннель. Существующая интенсивность движения по магистрали составляет 6–8 минут. Увеличение грузопотока сдерживает, в частности, Керакский тоннель, поэтому несколько лет назад было принято решение о его реконструкции, которая заключается в строительстве нового двухпутного тоннеля параллельно построенному в начале XX в., ремонту старого тоннеля и превращению его в эвакуационную штольню (рис. 1).

Новый двухпутный Керакский тоннель представляет собой сооружение высотой 9,1 м и шириной 10,8 м. Протяженность тоннеля составляет 926 м.

Непосредственное участие в строительстве и реконструкции приняла отечественная компания «ТЕХНОКОМ-БМ», опалубочные системы «ГАММА».

Бренд «ГАММА» является одним из лидеров рынка опалубочных систем на территории СНГ.

С 1993 г. продукция бренда «ГАММА» успешно применяется для строительства зданий и сооружений в России, Беларуси, Казахстане, Узбекистане, Азербайджане, Польше и Германии. В данной организации работают более 650 сотрудников, опыт работы порядка 30 лет, около 15 тыс. проектов в России и странах СНГ и представительства в четырех странах.

В технологическом плане решения компании не уступают известным международным маркам, что дает возможность бренду участвовать в проектах национального масштаба.

Линейка опалубочных систем представлена 16-ю универсальными форматами для стен, перекрытий, колонн, опор, мостов, вспомогательных элементов, а также широ-



Рис. 1. Комплекс «ПОТОК» на реконструкции Керакского тоннеля

ким рядом индивидуальных проектных решений, разработку которых выполняет собственный конструкторский отдел.

На реконструкции Керакского тоннеля компания занималась проектированием и изготовлением механизированного комплекса для бетонирования постоянной обделки тоннеля (рис. 2).

Данный комплекс состоит:

- из механизированной тележки для гидроизоляции;
- механизированной тележки для армирования;
- самоходной гидравлической опалубки;
- комплекта опалубки для бетонирования ниши.

Компании «ТЕХНОКОМ-БМ» была поставлена неординарная задача по трансформации опалубки с двухпутного тоннеля под однопутный. Впервые в мире было предложено



Рис. 2. Визуализированная 3-D модель самоходной гидравлической опалубки

но уникальное решение в конструкции тоннельной опалубки (рис. 3).

Рис. 3. Схема механизированного изменения ширины опалубочного комплекса

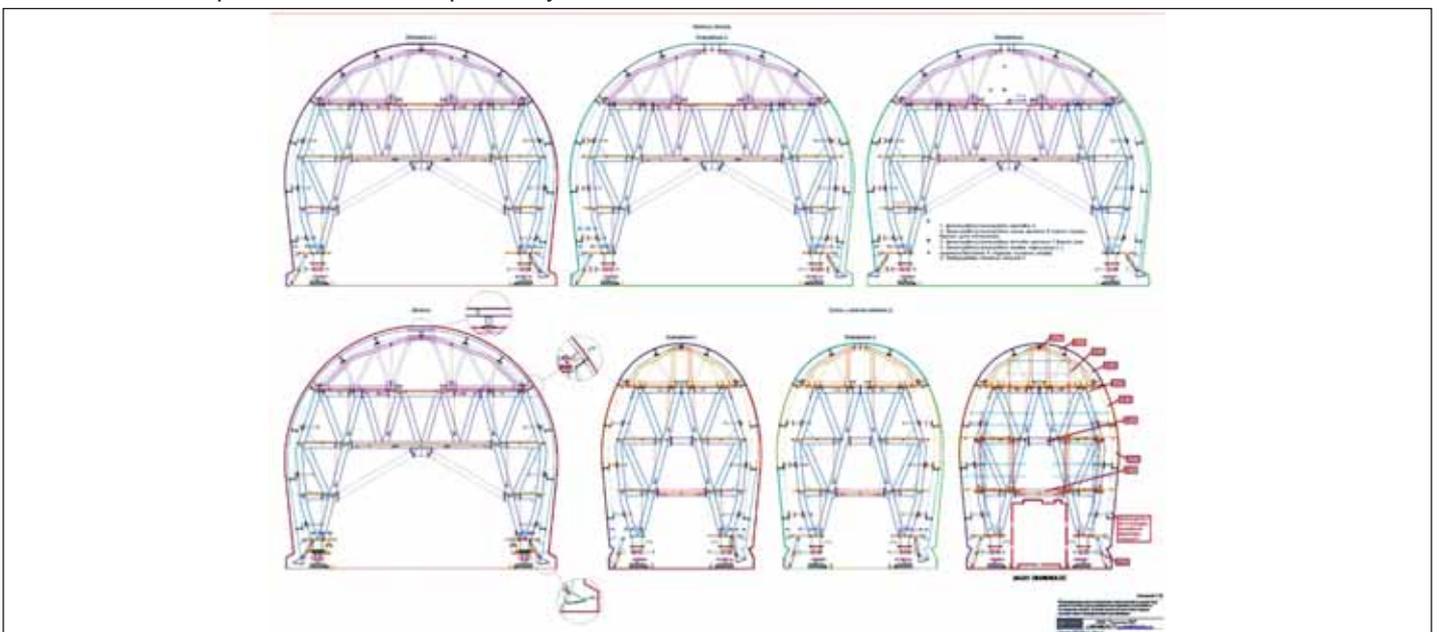




Рис. 4. Работники и самоходная гидравлическая опалубка

Основной агрегат комплекса «ПОТОК» – самоходная гидравлическая опалубка, имеющая следующие характеристики: вес 100 т, высота 9,5 м, ширина 10,8 м, длина 12,5 м, длина захватки 9,2 м, потребляемая мощность 30 кВт, расход воздуха 16 м³/мин при давлении 6 атм. Внутренний габарит проезда техники 3,2×4,0 м. Диаметр пропускаемого воздуховода – 1600 мм (рис. 4).

Рис. 7. Сборка самоходной гидравлической опалубки



Особенностью опалубки является механизированное изменение ширины сечения для бетонирования прямолинейных и криволинейных участков тоннеля непосредственно внутри сооружения.

Уникальное решение колесного узла позволило значительно снизить требования к точности установки рельсового пути и его креплению (рис. 5).

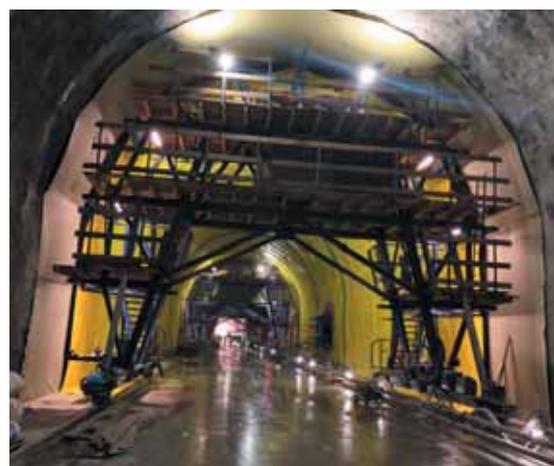


Рис. 5. Монтаж гидроизоляционной мембраны



Рис. 6. Сборка механизированной тележки для гидроизоляции

Локализация механизированного комплекса «ПОТОК» составляет более 98 %. По окончании изготовления была выполнена контрольная сборка на территории завода-изготовителя, предварительное 3D-сканирование и окончательная сдача заказчику. Отклонение от проектных размеров составило менее 10 мм. После разборки и доставки на объект была осуществлена сборка комплекса с инженерным сопровождением специалистами ООО «ТЕХНОКОМ-БМ», опалубочные системы «ГАММА» (рис. 6 и 7).

Проектирование и изготовление комплекса «ПОТОК» было осуществлено силами проектного бюро и металлообрабатывающего завода опалубочных систем «ГАММА» за восемь месяцев.

Проект комплекса «ПОТОК» является особенно значимым в современных реалиях, так как реализация данного проекта показывает, что подобные задачи могут быть выполнены отечественными компаниями, которые никак не уступают иностранным и даже превосходят их в ряде показателей.

Для связи с авторами

Бунт Михаил Ярославович
bunt.m@profil.ru
Гурин Евгений Геннадьевич
gurin.e@tehnobm.ru
Попонин Артём Романович
office.rus-tar@yandex.ru



реклама

WWW.OPALUBKA-GAMMA.COM INFO@TEHNOBM.RU +7 495 133-10-13

ГАММА
ОПАЛУБОЧНЫЕ СИСТЕМЫ



РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЛЮБЫХ ЗАДАЧ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

30 лет опыта

16 систем опалубки

Офисы в 4 странах

Представительства по всей России

Контроль качества

Современное оборудование

Собственный конструкторский отдел

Передовые технологии производства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗОН ВОКРУГ ТОННЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ С УЧЕТОМ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПО ТЕОРИИ МОРА-КУЛОНА

DETERMINATION OF LIMIT ZONES AROUND TUNNEL STRUCTURES WITH CONSIDERING THE ELASTOPLASTIC PROPERTIES OF SOILS ACCORDING TO MOHR-COULOMB THEORY

М. Миралимов, Р. Абилов, Д. Усманов, А. Каршибоев, Ташкентский государственный транспортный университет
M. Miralimov, R. Abirov, D. Usmanov, A. Karshiboev, Tashkent State Transport University

Исследование напряженно-деформированного массива вокруг подземных горизонтальных выработок и, в связи с этим, определение давления грунтов, действующего на конструкцию тоннеля, является одной из основных задач механики подземных сооружений. Сложность этой задачи объясняется разнообразием свойств горных пород, условий проведения тоннельных выработок и назначения их геометрии. В статье рассматривается методика и задача определения напряженно-деформированного состояния в окрестности тоннелей различного поперечного сечения с учетом упругопластических свойств деформирования грунтов по теории предельного состояния Мора-Кулона. Для расчета применяется метод конечных элементов в сочетании с методом начальных напряжений, причем используются изопараметрические конечные элементы с произвольной аппроксимацией.

The study of the stress-strain state around underground horizontal mine workings and, in connection with this, the determination of the soil pressure acting on the tunnel structure is one of the main tasks of the mechanics of underground structures. The complexity of this task is explained by the variety of rock properties, the conditions for the implementation of tunnel workings and their geometry. In this paper, we consider the method and problem of determining the stress-strain state in the surroundings of tunnels of various cross sections, taking into account the elastic-plastic properties of soil deformation according to Mohr-Coulomb theory. To calculate the stress-strain state, the finite element method in combination with the initial stress method and isoparametric finite elements with arbitrary approximation are used.

Сегодня в Республике Узбекистан предостоящие широкие масштабы транспортного строительства выдвигают в качестве одной из важнейших задач повышение качества сооружаемых объектов при одновременном снижении их материалоемкости, трудовых затрат и стоимости. Одним из направлений, способствующих решению этой задачи, является разработка и внедрение новых конструкций подземных сооружений, совершенствование методов расчета и проектирования транспортных тоннелей. При этом разработка на основе современных вычислительных методов расчетной модели должна обеспечить, в первую очередь, выполнение расчетов напряженно-деформированного состояния системы «тоннель-грунт», где описываются реальные свойства грунтов, окружающих тоннель.

Осуществление программы подземного строительства в городах требует решения ряда сложных архитектурно-планировочных и строительных задач, разработки новых инженерных решений с учетом накопленного прогрессивного опыта. При этом умение

правильно определять внутренние усилия в обделках тоннелей, используя различные инженерные методы и сравнивая их между собой, принимать обоснованные инженерные решения являются актуальными вопросами.

Метод решения и расчетные исследования

Обзор литературы и анализ работ, посвященных расчету и проектированию транспортных тоннелей, показал, что в задачах, связанных с расчетами подземных сооружений, необходимо постулировать начальное напряженное состояние массива горных пород [1, 2, 3]. Это начальное напряженное состояние нарушается после образования выработки тоннеля. Полные напряжения σ_{ij} в любой точке горной породы тогда можно представить как сумму начальных напряжений $(\sigma_{ij})_0$ и изменений напряжений σ'_{ij} в этой точке, обусловленных проведением выработки:

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij}. \quad (1)$$

Изменения напряжений σ'_{ij} называются дополнительными напряжениями.

Так как выработки проводятся в предварительно напряженном массиве пород, то реалистичное воспроизведение ситуации должно бы учитывать поэтапные изменения в геометрии выработок. Вместо поэтапного изменения в геометрии выработки, будем моделировать образование выработки путём постепенного снижения граничных усилий от начального значения до нуля.

Прежде всего можно заметить, что напряженное состояние вокруг выработки не изменится по сравнению с начальным состоянием, если на границе приложить усилия, эквивалентные тем, которые существовали до образования выработки.

Для моделирования образования выработки представим, что конечное состояние достигается в результате постепенного снижения усилий на границе, как изображено на рис. 1. Если начальные усилия разделить на K ступеней величиной

$$\Delta(\sigma_{ij})_0 = \frac{(\sigma_{ij})_0}{K},$$

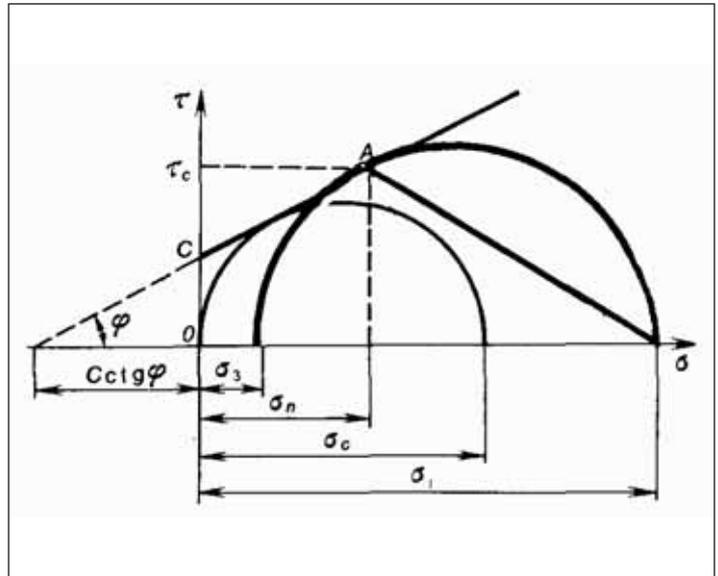
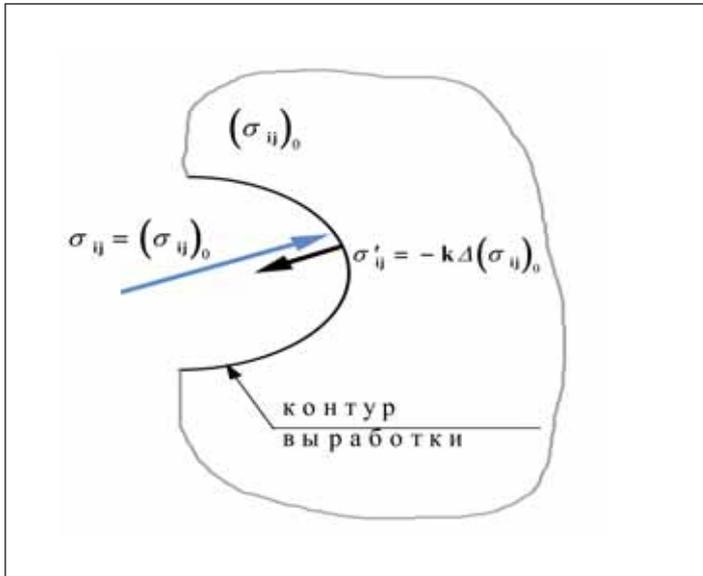


Рис. 1. Моделирование образования выработки тоннеля

Рис. 2. Графическое представление условия текучести Мора-Кулона

то дополнительные усилия для k -го шага снижения нагрузок составляют:

$$\sigma'_{ij} = -k\Delta(\sigma_{ij})_0 = -\frac{k \cdot (\sigma_{ij})_0}{K}, \quad (2)$$

а полные усилия равны:

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij} = (\sigma_{ij})_0 \left(1 - \frac{k}{K}\right). \quad (3)$$

Следовательно, последний шаг $k = K$ даёт, как и должно быть, $\sigma'_{ij} = -(\sigma_{ij})_0$, $\sigma_{ij} = 0$.

Для реализации этого алгоритма была использована конечно-элементная модель, и при этом на каждом шаге приращения дополнительных напряжений учитывался процесс перехода соответствующих конечных элементов в пластическую область [4].

В качестве условия текучести для упруго-пластической задачи принято условие текучести Мора-Кулона (рис. 2):

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (4)$$

Другими словами, сначала задавалось приращение нагрузки, и на это приращение ре-

шалась задача и определялись напряжения $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\tau_{xy}$. Опишем подробнее эту процедуру.

Главные напряжения можно определить по известным формулам:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_3 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}.$$

Подставляя (5) в (4) и проделав преобразование можно записать:

$$(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)\cos^2\varphi - 2\sigma_x\sigma_y(1 + \sin^2\varphi) + 4\tau_{xy}^2 + (\sigma_x + \sigma_y)2c\sin 2\varphi = 4c^2\cos^2\varphi. \quad (6)$$

Если вместо $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\tau_{xy}$ подставить $\sigma_x + r\Delta\sigma_x$, $\sigma_y + r\Delta\sigma_y$, $\tau_{xy} + r\Delta\tau_{xy}$ и решить уравнение (6) относительно r , то для каждого элемента, находящегося в упругой зоне, можно определить свой коэффициент r , на который надо умножить приращение нагрузки, чтобы этот конечный элемент до-

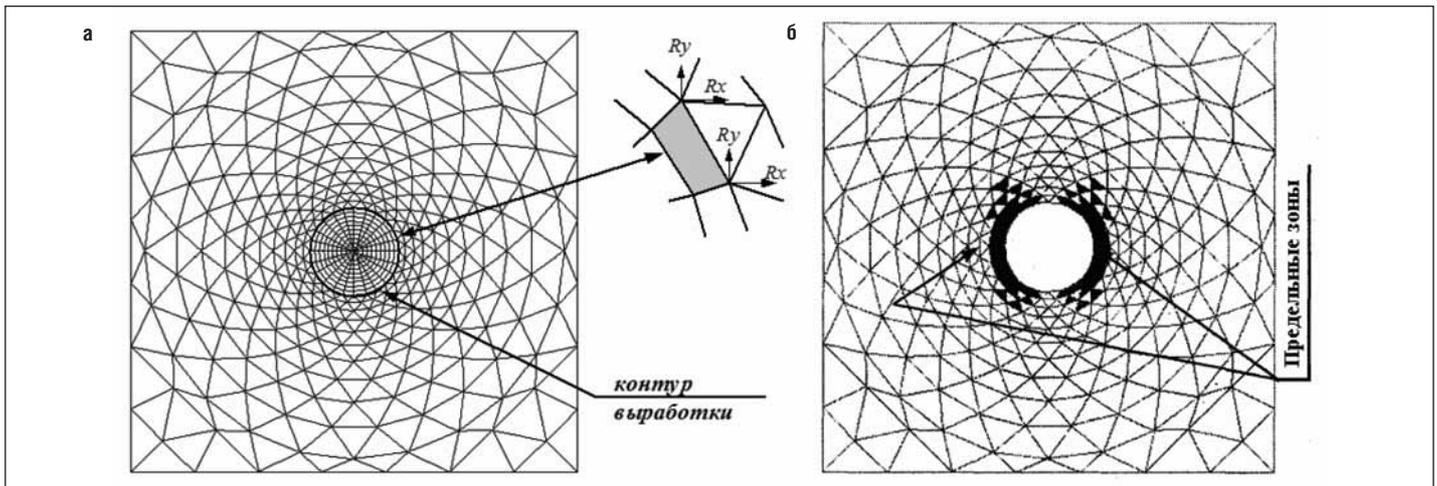
стиг предела текучести. Элемент, у которого r минимально, первым перейдет в пластическую область.

Следовательно, если все результаты, вычисленные на данном шаге приращения нагрузки ΔF , умножить на минимальный коэффициент r , то мы получим ситуацию, при которой в пластику перейдет один элемент. Последовательно применяя на каждом шаге приращения нагрузки эти вычисления, достигается последовательный переход конечных элементов в пластическую область.

Для улучшения работоспособности предложенной методики расчета разработаны алгоритмы и программы разбивки на конечные элементы и нумерации элементов и узлов, вывод графической информации об исходных данных, о перемещениях в узлах и напряжениях в элементах, а также алгоритм вывода информации в графическом виде [5].

В качестве примера решена упруго-пластическая задача со следующими характеристиками для грунта: собственный вес $\gamma = 0,0198$ МН/м³, модуль деформации $E = 11$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$, сцепление $C = 0,08$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 26^\circ$. Задача решалась следующим образом. На первом шаге

Рис. 3. Расчет выработки тоннеля: а – приведение напряжений к силам отбрасываемой части массива, б – предельные зоны



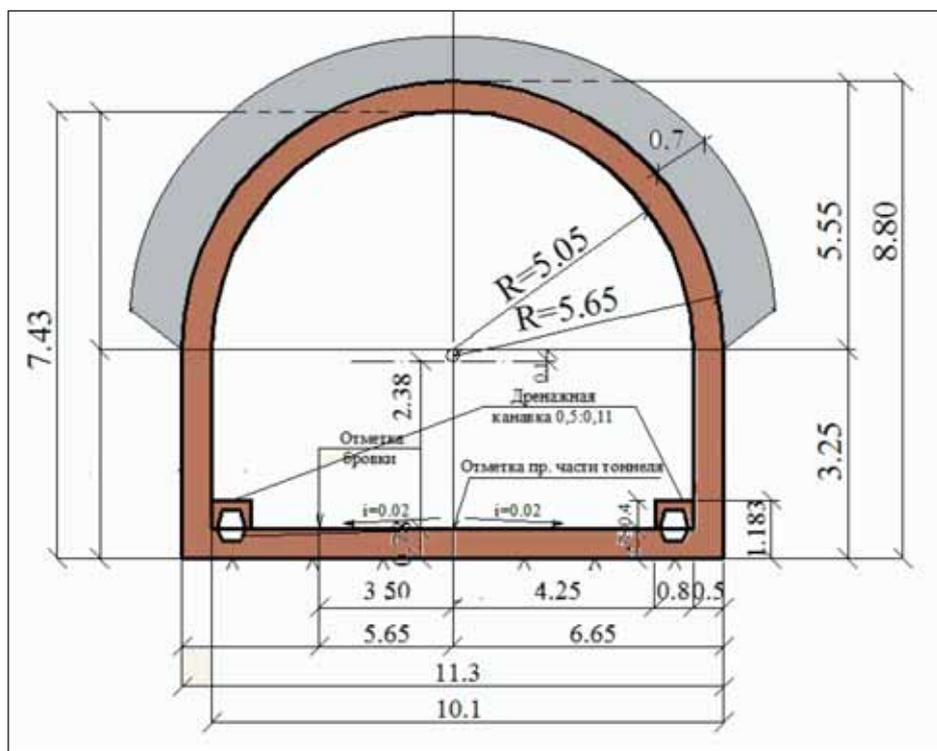


Рис. 4. Конструкция автотранспортного тоннеля глубокого заложения

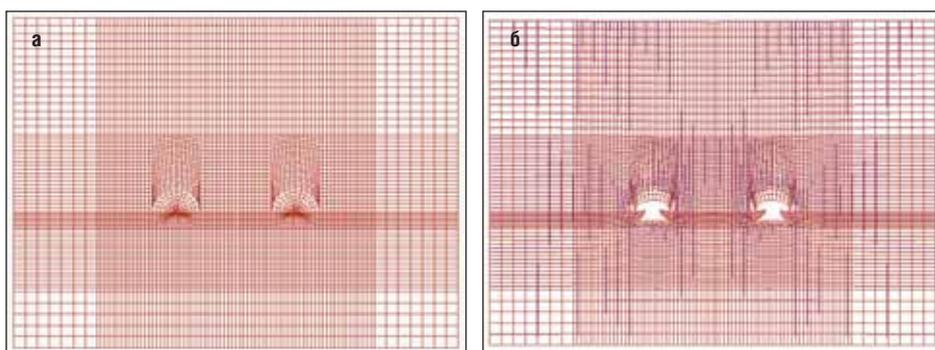


Рис. 5. Область без крепления: а – схема моделирования области в плоскости, б – картина деформирования

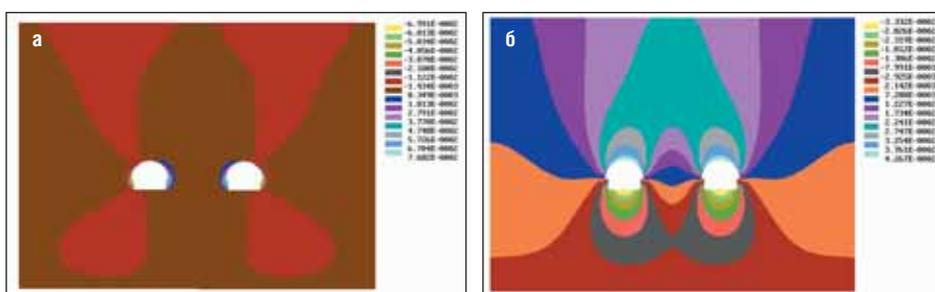
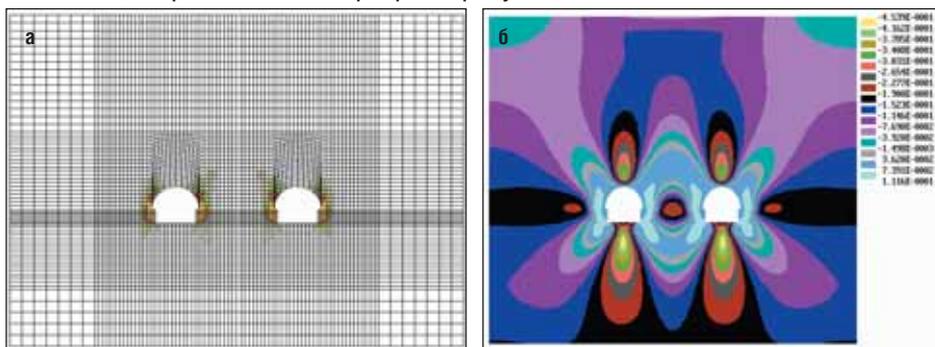


Рис. 6. Изохромы перемещений, м: а – горизонтальных, б – вертикальных

Рис. 7. Места вокруг выработки, в которых порода разрушилась, без временного крепления: а – в конечном этапе, б – критические зоны по критерию Мора-Кулона



были определены начальные напряжения по расчетной схеме, представленной на рис. 3а, и граничные усилия по контуру будущей выработки. На втором шаге, с целью проверки правильности определения граничных усилий, определялись напряжения в области во-круг выработки рис. 3б, т. е. задавались граничные усилия и гравитационные силы.

Результат расчета должен совпасть с результатами на первом шаге. На третьем шаге решалась упругопластическая задача. Задача решалась методом, описанным выше, т. е. задавалось начальное напряжение и порциями прикладывались силы, снижающие начальные напряжения по контуру выработки.

По необходимости можно получить значения напряжений вдоль контура выработки. Результаты показали, что предельные зоны неупругости распространяются от границы выработки во внутрь грунта, как показано на рис. 3б.

Теперь исследуем напряжённо-деформированное состояние обделки автотранспортного тоннеля, где поперечное сечение обделки и ее конструктивные размеры представлены на рис. 4. Для расчета приняты следующие исходные данные: для грунта – объемный вес $\gamma = 0,0225 \text{ МН/м}^3$, кажущийся угол внутреннего трения $\phi = 37^\circ$, сцепление $C = 2 \text{ МПа}$, модуль деформации $E = 5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$ и для обделки – объемный вес $\phi = 0,025 \text{ МН/м}^3$, модуль Юнга $E_b = 30 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\nu = 0,32$. Тоннель находится на глубине 40 м, при этом временная крепь устанавливается из бетонного свода марки В25 с толщиной 0,7 м. Для снижения влияния граничных условий на напряженное состояние тоннелей, располагаем их на достаточном расстоянии от границ (рис. 5а). На первом этапе определим начальное напряженное состояние массива.

Численное моделирование и исследование задачи проведем по разработанной программе. При расчетах считаем, что два тоннеля прокладываются одновременно и далее рассматриваем картину распределения напряжений вокруг них.

Вариант 2 – пройден верхний уступ, установлена временная бетонная крепь, пройден нижний уступ. Из приведенных рис. 8, 9 и 10 можно увидеть, что после устройства временного крепления предельные зоны в сводовой части не появились, но в нижней части они увеличились. В результате нелинейного расчета напряжения вокруг тоннеля уменьшились по сравнению с упругими на 15–18 %. Как указывалось выше, в массиве переход от упругой в нелинейную упругопластическую зону осуществляется поэлементно, и здесь можно увидеть характер протекания пластичности (критических зон) вокруг тоннелей. За сводовой частью неупругая зона не осталась, но в боковой части в пластическую зону перешли несколько элементов.

На основе проведенных исследований по определению нарушенных зон вокруг тоннелей были окончательно определены следующие глубины пластических слоев от поверхности выработки: над сводовой частью

пластические зоны не появились (уже с креплением); у стенки максимальная глубина составляет 2 м; в лотковой части 2,5–3,0 м.

Самым опасным в данном случае с точки зрения устойчивости являются нижние боковые поверхности стен и края лотка выработки. Поэтому, исходя из опыта практики проектирования и строительства, в скальных грунтах рекомендуем применение различных мероприятий по укреплению стен выработок. По нашему мнению, применение анкерной крепи позволяет усиливать сцепление пород, повышает их прочность и устойчивость и не дает развиваться обрушению стенки. Длину анкеров принимаем 3–3,5 м. Шаг анкеров можно назначать 50 см, при этом толщины плит, устанавливаемых на стенку, принимаются 10–15 см (рис. 11). Устойчивость краев и границ можно обеспечить другой временной крепью, как например, в виде досок – 1, поддержанных анкерами и швеллерами подхватами – 2.

Заключение

Исследование напряженно-деформированного состояния вокруг подземных горизонтальных выработок и, в связи с этим, определение давления грунтов, действующего на конструкцию тоннеля, является одной из основных задач механики подземных сооружений. Разработана методика расчета определения напряженно-деформированного состояния в окрестности тоннелей различного поперечного сечения с учетом упругопластических свойств деформирования грунтов по теории предельного состояния Мора-Кулона. Для расчета использован метод конечных элементов в сочетании с методом начальных напряжений, причем применены изопараметрические конечные элементы с линейной аппроксимацией поля перемещений.

Для улучшения работоспособности предложенной методики расчета разработаны алгоритмы и программы разбивки на конечные элементы и нумерации элементов и узлов, вывод графической информации об исходных данных, о перемещениях в узлах и напряжениях в элементах, а также алгоритм вывода информации в графическом виде.

Решены две задачи о распределении напряжений вокруг выработок транспортных тоннелей круглых и подковообразных очертаний и даны рекомендации по укреплению стен выработок в возможных зонах пластичности.

Ключевые слова

Тоннель, грунт, метод конечных элементов, предельная зона.

Tunnel, soil, finite element method, limit zone.

Список литературы

1. Бульчев Н. С. Механика подземных сооружений, М.: Недра, 1994, с. 27–28.
2. Гарбер В. А. Научные основы проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения. НИЦ «Тоннели и

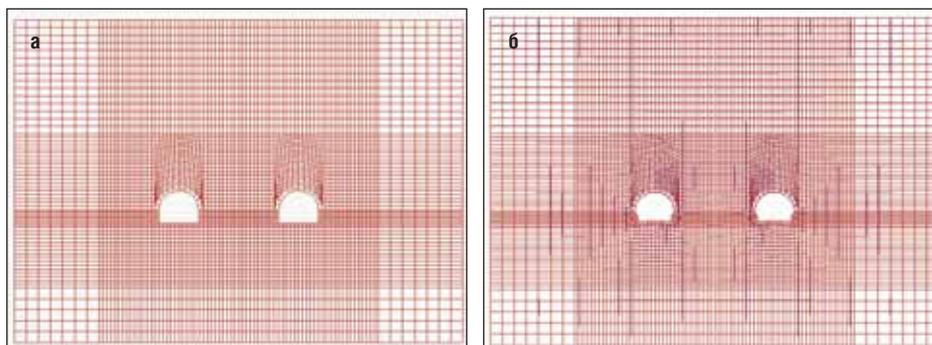


Рис. 8. Область с верхним бетонным креплением выработки: а – схема моделирования области в плоскости, б – картина деформирования

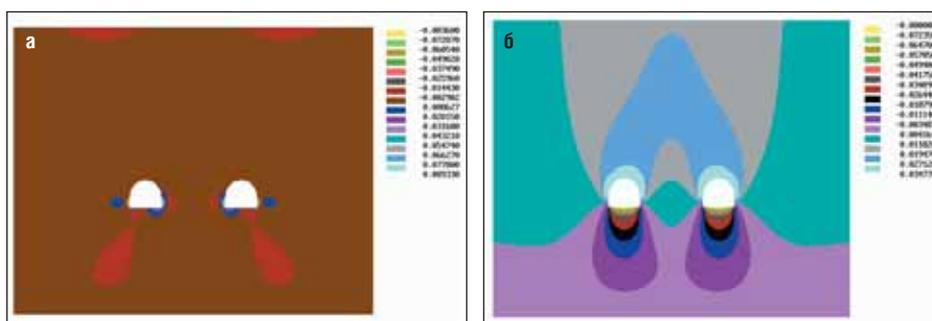


Рис. 9. Изохромы перемещений в массиве с верхним бетонным креплением выработки, м: а – горизонтальных, б – вертикальных

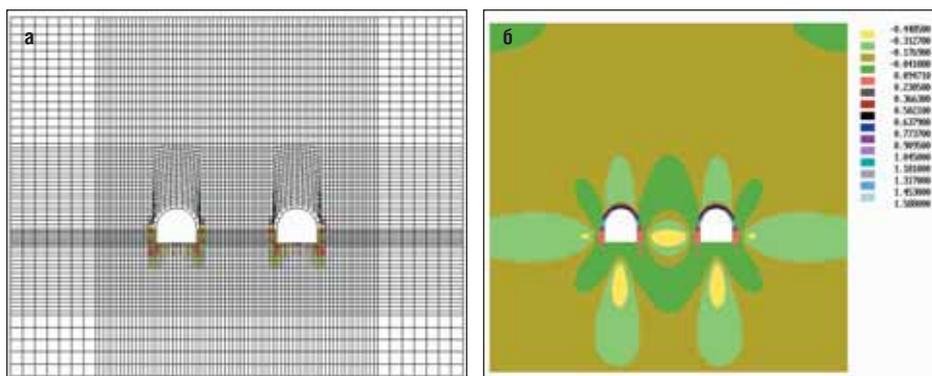


Рис. 10. Места вокруг выработки, в которых порода разрушилась, с временным креплением выработки: а – в конечном этапе, б – критические зоны по критерию Мора-Кулона

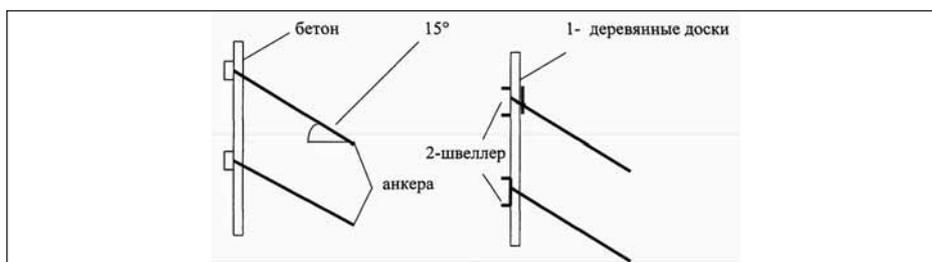


Рис. 11. Рекомендуемые типы крепления стен выработок тоннелей для скального грунта

метрополитены». АО «ЦНИИС», 1996, часть 1, с. 169, часть 2, с. 220.

3. Тхань Д. В. Взаимное влияние двух параллельных тоннелей, сооружаемых щитовым методом в условиях Вьетнама. Дисс. канд. техн. наук. / Москва, 2018. –158 с.

4. Миралимов М. Х. Имитационная модель расчета строительных конструкций и сооружений. // Вопросы кибернетики. Ташкент, Выпуск 175, 2006, С. 71–82.

5. Миралимов М. Х. Информационное моделирование упругопластического состояния

выработок тоннелей на персональном компьютере. // Узбекский журнал. «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент: Фан, 2000, № 5 – С. 47–50 (05.00.00; № 5).

Для связи с авторами

Миралимов Мирзахид
mirzakhid_miralimov@yahoo.com
Абиров Рустам
rustam_abirov@mail.ru
Усанов Дилшод
Каршибоев Абдулазиз

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ СОЗДАНИЯ ПОДВОДНЫХ ПАРКИНГОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

FEASIBILITY OF CREATING UNDERWATER PARKING PARKS IN LARGE CITIES

Л. В. Маковский, к. т. н., В. В. Кравченко, к. т. н., МАДИ
L. V. Makovsky, PhD, V. V. Kravchenko, PhD, MADI

Рассмотрены различные аспекты, касающиеся целесообразности строительства в Москве подводных паркингов. Дефицит свободных территорий, возрастающие темпы автомобилизации, а также высокая стоимость земельных участков обуславливают необходимость создания внеуличных паркингов различного типа: подземных, полуподземных, рамповых, механизированных и автоматизированных.

Весьма перспективными представляются подводные паркинги, идеи строительства которых появились в 2005 г. Было выделено 25 участков под протоками Москвы-реки, на которых предполагалось разместить систему многоярусных механизированных и автоматизированных паркингов для размещения в них до 15 тыс. легковых автомобилей.

Уделено внимание проектным разработкам по созданию подводных паркингов в Санкт-Петербурге и Амстердаме.

Отмечено, что при строительстве подводных паркингов должен учитываться мировой опыт сооружения подводных тоннелей с применением открытого, щитового и способа опускных секций.

Various aspects concerning the feasibility of building underwater parking lots in Moscow are considered. The shortage of free territories, the increasing pace of motorization, as well as the high cost of land plots necessitate the creation of off-street parking lots of various types: underground, semi-underground, ramp, mechanized and automated.

Underwater car parks appear to be very promising, the ideas of construction of which appeared in 2005. 25 sites were allocated under the channels of the Moskva River, on which it was supposed to place a system of multi-tiered mechanized and automated car parks to accommodate up to 15 thousand cars.

Attention was paid to design developments for the creation of underwater parking lots in St. Petersburg and Amsterdam.

It is noted that the construction of underwater parking should take into account the world experience in the construction of underwater tunnels using open, shield and the method of lowering sections.

Проблема размещения автостоянок в крупнейших городах и мегаполисах мира остается на сегодняшний день важной, актуальной и чрезвычайно сложной.

Плотная городская застройка, дефицит свободных территорий в условиях непрерывно возрастающих темпов автомобилизации, а также высокая стоимость земельных участков обуславливают необходимость поиска новых нетрадиционных решений.

Поскольку открытые наземные автостоянки занимают много места, в большинстве случаев сооружают многоярусные внеуличные надземные, подземные и полуподземные паркинги, которые освобождают городские территории для строительства других зданий и сооружений [1, 2].

Начиная с середины прошлого века, во многих крупнейших городах мира, включая Москву, создана сеть подземных и по-



Рис. 1. Проект трехуровневого подводного паркинга у Мариинского театра в Санкт-Петербурге

луподземных внеуличных паркингов, преимущественно для легковых автомобилей. Получают распространение механизированные и автоматизированные паркинги, где все перемещения автомобилей осуществляются без участия водителей. Такие паркинги имеют ряд преимуществ за счет исключения рампы, уменьшения габаритов стояночных мест, снижения уровня загазованности и эксплуатационных расходов [1].

Новым направлением в сооружении паркингов для легковых автомобилей является создание подводных автостоянок, располагаемых под акваторией рек, каналов, озер или водохранилищ.

При этом не требуется отвода дорогостоящих городских территорий, не нарушаются условия движения наземного транспорта, отпадает необходимость переустройства подземных инженерных коммуникаций.

Москва – крупнейший мегаполис, занимающий территорию 2550 км² с населением более 12 млн человек. Автомобильный парк насчитывает более 4 млн легковых автомобилей.

Наряду с традиционными внеуличными парковками (наземные, подземные и полуподземные) в Москве могут появиться подводные автостоянки и гаражи.

Впервые идеи разместить паркинги под р. Москвой появились в 2005 г. Было выделено 25 участков для возможного строительства многоярусных механизированных паркингов с полностью автоматизированным управлением.

8–10-уровневые паркинги высотой до 40 м рассчитаны на размещение от 100 до 600 легковых автомобилей.

Были выполнены предпроектные проработки по строительству автоматизированных подводных паркингов под протоками Москвы реки, что должно было добавить городу от 2,5 до 15 тыс. машиномест.

Подводные паркинги намечалось построить в районе Якиманской набережной, недалеко от Кремля под водоотводным каналом.

Паркинг рассчитан на 850 автомобилей и 38 автобусов и займет территорию длиной около 0,5 км от памятника Петру Первому до Малого Каменного моста. Он свяжет Якиманскую набережную с ул. Малая Якиманка.

Еще один подводный паркинг было намечено построить под Водоотводным каналом и Болотной площадью.

Разработаны проекты подводных паркингов от фабрики «Красный Октябрь» до Новоспасского моста, под Водоотводным каналом и Болотной площадью, под Раушской и Фрунзенской набережными, в районе Москва-Сити, возле гостиницы Балчуг, у Киевского вокзала.

Заслуживают внимания проектные предложения по созданию трехуровневого подводного паркинга в Санкт-Петербурге у Мариинского театра (рис. 1) и двухуровневого



Рис. 2. Проект подводного паркинга в Амстердаме с 600 парковочными местами и 60 местами для велосипедов

паркинга под каналом в Амстердаме, Нидерланды (рис. 2).

При проектировании и строительстве подводных паркингов должен быть проанализирован богатый опыт создания подводных тоннелей в нашей стране и за рубежом. В Москве подводные тоннели построены под каналом им. Москвы, а также под р. Москва по трассе линий метрополитена.

Разнообразные подводные тоннели построены в Лондоне, Гамбурге, Париже, Роттердаме, Нью-Йорке, Токио и других городах [1].

Мировой опыт сооружения подводных тоннелей должен быть учтен при разработке объемно-планировочных, конструктивных и технологических решений, а также особенностей эксплуатации подводных паркингов.

В зависимости от местных градостроительных, инженерно-геологических и гидрологических условий подводные паркинги могут сооружаться открытым, щитовым или способом опускных секций.

Применение открытого способа с временным отводом воды возможно только при ограниченных размерах паркингов в плане.

Для строительства протяженных подводных паркингов тоннельного типа наиболее эффективны щитовой способ и способ опускных секций.

Для решения городских транспортных проблем необходимы комплексные, взаимосвязанные решения, направленные на дальнейшее развитие сети автомагистралей, а также создание многочисленных паркингов различного типа, имеющих удобные связи с городской инфраструктурой.

Что касается подводных паркингов, то они позволяют в минимальной степени загромождать территории, особенно в центральной части крупнейших городов и мегаполисов.

Дальнейшее развитие городской транспортной инфраструктуры должно предусматривать создание развитой сети различных видов внеуличных паркингов, в том числе и подводных.

Ключевые слова

Подводный паркинг, проектные разработки, подводные тоннели.

Underwater parking, design developments, underwater tunnels.

Список литературы

1. *Маковский Л. В., Кравченко В. В. Подводные транспортные тоннели из опускных секций. – М.: КНОРУС, 2017 – 160 с.*
2. *Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Строительство автодорожных и городских тоннелей. М.: РИОР: ИНФРА, 2014 – 397 с.*
3. *Интернет-ресурсы:*
 · URL:Режим доступа <https://realty.rbc.ru/news/577d32b19a7947a78ce985a2>, свободный (дата обращения 07.10.2022);
 · URL:Режим доступа <https://boston.curbed.com/2017/6/7/15747306/boston-transportation-projects-planned-real-estate?uptr=yahoo>, свободный (дата обращения 07.10.2022);
 · URL:Режим доступа <https://roads.ru/forum/topic/24395-podvodnye-parkovki-v-moskve/><https://av.by/news/v-moskve-poyavyatsya-podvodnye-parkingi>, свободный (дата обращения 07.10.2022);
 · URL:Режим доступа <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1572822&archive=2021.07.22>, свободный (дата обращения 07.10.2022).

Для связи с авторами

Маковский Лев Вениаминович
tunnels@list.ru
Кравченко Виктор Валерьевич
609vkv@gmail.com



ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИФИЧНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ГРУНТОВОГО МАССИВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

EXPERIENCE IN THE APPLICATION OF SPECIFIC OBSERVATION SYSTEMS IN SEISMIC TOMOGRAPHY RESEARCH OF A SOIL MASSIF FOR SOLVING GEOTECHNICAL PROBLEMS

К. А. Дорохин, А. М. Сухарев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

K. A. Dorokhin, A. M. Sukharev, JSC «NIPII «Lenmetrogioprotrans»

В статье рассмотрены специфичные варианты исследований массивов сейсмоакустическими методами с последующей томографической обработкой данных в условиях, когда поставленная задача не может быть решена ни методами поверхностного профилирования, ни методами межскважинного просвечивания.

The article considers specific options for studying arrays by seismoacoustic methods with subsequent tomographic processing of data, in conditions when the task cannot be solved by methods of surface profiling or methods of cross hole seismic.

Основным объектом сейсмоакустических исследований при строительстве является массив горных пород, под которым понимается обособленная часть геологической среды, находящаяся в сфере инженерного воздействия. Эта часть среды исследуется с целью установления условий производства строительных работ и последующей эксплуатации возведенных сооружений. При этом массив горных пород рассматривается как сложная геологическая система, обладающая некоторыми характеристиками: структурой, вещественным составом, физическим состоянием, определенными свойствами и динамикой.

Поле напряжений, действующее в грунтовом массиве, сочетает в себе как естественные напряжения, так и напряжения техногенного происхождения, связанные с созданием крупных наземных или подземных сооружений. При этом влияние техногенных напряжений часто значительно превосходит природную составляющую.

Изменение напряженного состояния влияет на уровень трещиноватости и пористос-

ти пород. При релаксации, например, происходит увеличение этих параметров, т. е. разуплотнение пород. Как трещинное, так и поровое разуплотнение приводит к уменьшению сопротивляемости пород сдвигу из-за нарушения структурного сцепления, одновременно увеличивается схимаемость и водопроницаемость пород [1].

Выявление и оценка образовавшихся ослабленных зон – необходимый этап прогнозирования последующих осадок инженерных конструкций, зданий, находящихся в зоне влияния строительных работ для последующего проектирования мероприятий по ликвидации деформационных процессов и решения ряда других практически важных задач.

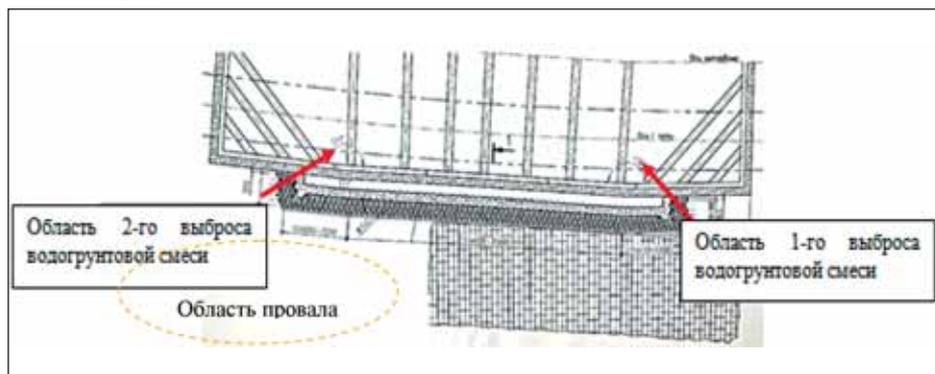
Иногда для решения задач по оценке состояния грунтового массива требуется применение специфичных подходов, хотя и вполне стандартными инструментами и способами интерпретации. Это связано с тем, что по различным причинам стандартные методики, например, поверхностные методы, либо не работают (разрезы с инверсным

распределением скоростных характеристик или наличие в разрезе экранирующего слоя), либо просто нет доступа к необходимой для исследования среде, например, грунты под основаниями зданий и пр.

Методика исследований

Сейсмоакустические исследования для решения геотехнических задач широко применяются в области строительства. Еще в конце 50-х и начале 60-х годов прошлого столетия в связи со строительством гидроэлектростанций в Сибири, Средней Азии и Закавказье были использованы сейсмоакустические методы для изучения упругих и деформационно-прочностных свойств скальных пород. Работы и публикации А. И. Савича, Ф. М. Ляховицкого, В. Н. Никитина, В. И. Коптева и других специалистов в отношении изучения свойств скальных пород методами сейсмоакустики послужили толчком для их применения при исследовании дисперсных грунтов. С конца 60-х и начала 70-х годов сейсмоакустические методы стали использоваться с целью изучения свойств физико-механических свойств дисперсных пород в различных их состояниях. С появлением сейсмической томографии существенно возросли возможности сейсмоакустики, что связано с повышением детальности и разрешающей способности, особенно для изучения сложнопостроенных и мало контрастных сред. Кинематические и динамические особенности распространения упругих волн в геологической среде позволяют не только на качественном уровне изучить строение среды, выявить ослабленные и суффозионные зоны, но также количественно оценить упруго-деформационные и прочностные свойства массива пород в целом и на его от-

Рис. 1. Схема котлована с нанесенными зонами аварийного выброса водно-грунтовой смеси на глубине около 20 м



дельных локальных участках, что очень важно для решения геотехнических задач.

В последнее десятилетие всё чаще возникают задачи, связанные с контролем фактического состояния грунтового массива в период строительства для сохранения городской инфраструктуры. Данные наблюдения направлены на своевременное выявление возникающих деструктивных процессов в грунтовом массиве, получение необходимых данных для проектирования противоаварийных/превентивных мероприятий и для оценки эффективности уже реализованных решений. В настоящее время появилось большое количество публикаций, посвященных геофизическим наблюдениям для решения геотехнических задач в период строительства. К ним можно отнести работы, связанные с сейсмоакустическим контролем различных инъекционных закреплений грунтового массива под основаниями зданий и сооружений, оценки сплошности удерживающих и противофильтрационных конструкций, контроль противоаварийных мероприятий при подземном строительстве и пр. [2–7]. Стоит отметить, что в последнее время наибольшее предпочтение отдается скважинным методам. Это связано с высокой разрешающей способностью и методической реализацией в стесненных городских условиях [8, 9].

Но что, если у исследователей нет возможности провести скважинные исследования? В подобных ситуациях при использовании стандартного набора оборудования большое значение имеет индивидуально подобранная система наблюдений, которая позволяет решить конкретную поставленную задачу. Методика наблюдений в большинстве случаев напоминает просвечивание, но без применения скважин и скважинного оборудования.

К стандартному набору оборудования относятся:

- многоканальная (в нашем случае 24-х канальная) сейсмостанция;
- приемная коса с комплектом сейсмоприемников;
- ударный источник сейсмического импульса (кувалда).

Шаг между сейсмоприемниками (велоциметрами) выбирается исходя из требуемой детальности исследований и составляет, как правило, 2–5 м.

Выбор системы наблюдений, а именно взаимное расположение приемной косы и пунктов расположения источника, зависит от поставленной задачи, геометрических размеров исследуемого объекта, а также условий производства исследований.

Примеры применения нестандартных подходов

Пример 1. После возведения противофильтрационной и удерживающей конструкции «стена в грунте», когда уже почти весь грунт был вынут из котлована, с интервалом в несколько дней на глубине 19–20 м произошли два выброса водно-грунтовой смеси в области некачественно выполнен-

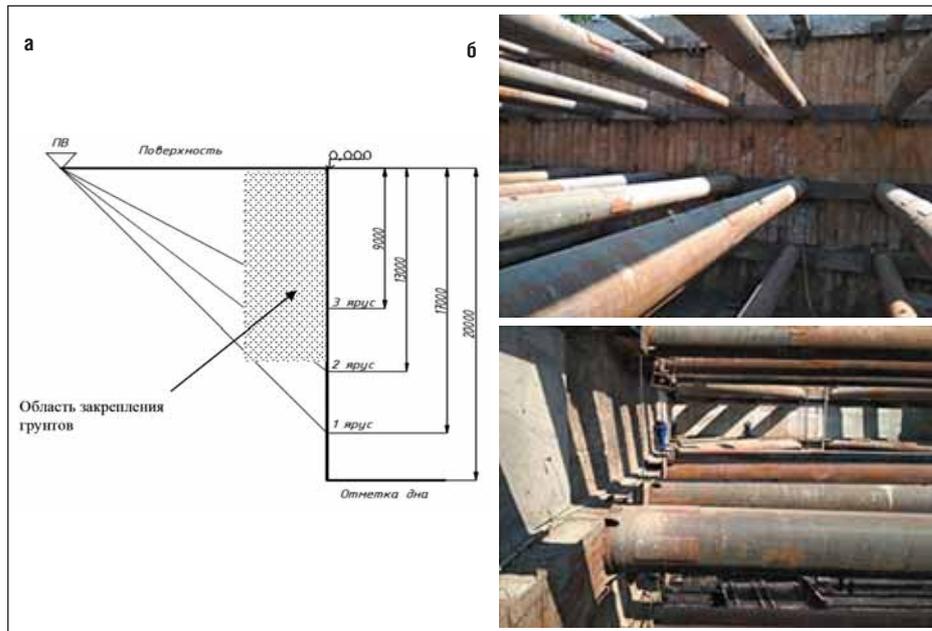


Рис. 2. Схема выполнения исследований относительно поверхности и дна котлована (а), фото расположения ярусов, вдоль которых производилась расстановка сейсмоприемников (б)

ных стыков между железобетонной монолитной стеной и стеной из свай БСС (рис. 1). Аварии были успешно локализованы, но в котлован вышло порядка 350 м³ водно-грунтовой смеси. Стоит отметить, что первый выброс (в правой части стены), около 300 м³, не вызвал осадок поверхности, а в результате второго, существенно меньшего по объему (около 50 м³), в левой области поверхности образовался провал глубиной примерно до 1 м и диаметром около 9 м.

В соответствии с геологией в верхней части разреза до 26 м прослеживаются различные пески с прослоями супесей и суглинков, ниже – залегают глины. Анализ возникшей ситуации показал, что дневная поверхность в правой части, по всей видимости, удерживается искусственно созданным слоем грунтов, закрепленным инъекционными нагнетаниями. Слой имеет мощность около 13 м и перекрывает образовавшуюся в результате выброса ослабленную область.

Дальнейшее производство строительных работ требовало установку у котлована многотонного крана, а это, в связи с имеющейся на глубине ослабленной областью, могло повлечь за собой новую аварию. По этой причине появилась необходимость опреде-

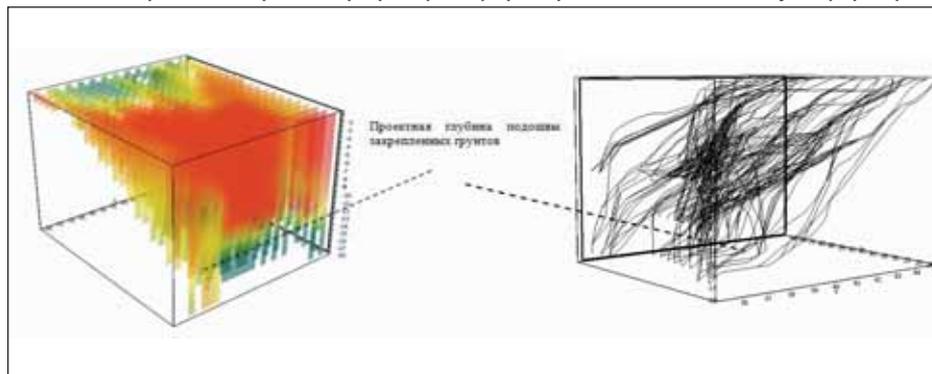
ления расположения образовавшейся во вмещающем массиве ослабленной области для проектирования дальнейших мероприятий по устранению последствий двух выбросов в котлован.

Поверхностные методы исследования в данной ситуации малоэффективны в связи с наличием в разрезе экранирующего (высокоскоростного) слоя закрепленного грунта, а также с отсутствием скважин на объекте, которые можно было бы использовать для сейсмоакустического просвечивания. Поэтому для решения поставленной задачи были выполнены сейсмоакустические исследования в виде сеймопросвечивания между дневной поверхностью и стеной котлована на различных уровнях (рис. 2).

Сейсмоприемники крепились на стену котлована с шагом 2 м, а возбуждение колебаний осуществлялось на дневной поверхности параллельно линии приема с шагом 5 м. Регистрация велась на открытом канале с частотой оцифровки 4 кГц, для усиления полезного сигнала использовалось накопление.

Приемная коса с датчиками поочередно была расположена на глубинах около –9 м (3 ярус), –13 м (2 ярус), –17 м (1 ярус) от по-

Рис. 3. 3D-изображение скоростного разреза (слева), трассирование сейсмических лучей (справа)



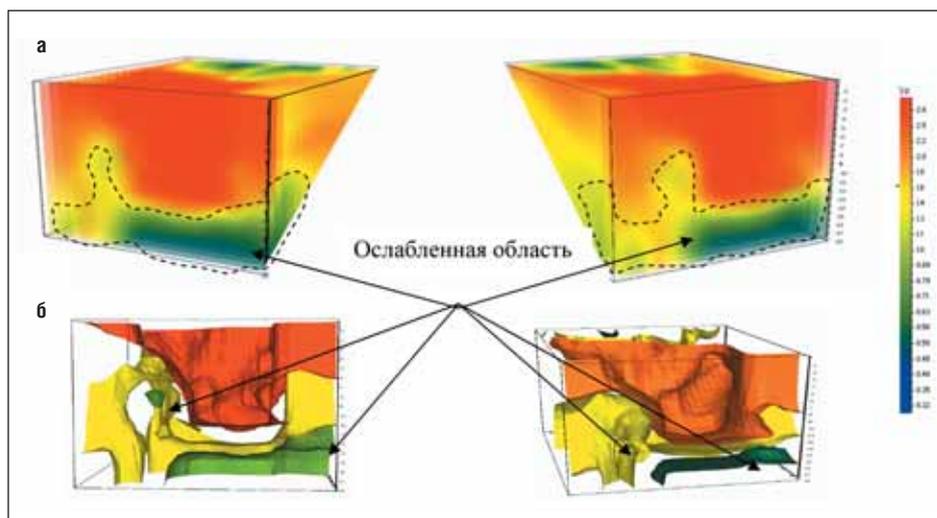


Рис. 4. 3D-изображение с выделенной зоной сильно пониженных скоростей, по всей видимости связанных с разуплотнением при прорывах водно-грунтовой смеси в котлован

верхности земли, где возбуждались сейсмические колебания.

Результаты сейсмопросвечивания было решено представить в виде 3D-изображения распределения скоростей в исследуемой среде (программа ZONDst3d) (рис. 3).

Для выделения аномальных участков визуализация изображения была настроена таким образом, чтобы выделить высокоскоростную среду примерно 2,8 км/с, которая характеризует массив закрепленных грунтов и низкоскоростную среду, связанную с зоной ослабления в результате выноса водно-грунтовой смеси в котлован (рис. 4а, б).

Стоит отметить, что в связи с высоким уровнем техногенных помех из-за работающей строительной техники, снять с сейсмограмм первые вступления продольных волн удалось только фрагментарно. Поэтому были сняты времена наиболее интенсивных последующих фаз, по которым и выполнили последующие построения. По этой причине скорости продольных волн несколько занижены, и разрезы дают представление только об относительном изменении упругих характеристик грунта.

По результатам исследований вдоль восточной стенки была выделена одна общая субгоризонтальная ослабленная область, которая образовалась в результате выноса водно-грунтовой смеси в котлован. При этом слой закрепленных грунтов в зоне наибольшего выноса действительно удержал поверхность от просадок, а грунты вдоль нижней части стены были существенно ослаблены, что стало причиной второго выноса и последующей осадки поверхности.

Пример 2. Сейсмоакустические исследования выполнялись с целью оценки качества работ по инъекционному упрочнению грунтов для снижения негативного влияния техногенных процессов при строительстве подземной выработки на здания, находящиеся в зоне влияния строительных работ.

Инъекционные закрепления грунтов должны были быть выполнены согласно проекту по принципиальной схеме, представленной на рис. 5.

Для объективной оценки качества и эффективности мероприятий по закреплению грунтового массива сейсмоакустическими

методами необходимо выполнить нулевой цикл измерений, который покажет характеристики грунтов до производства нагнетаний. Для этих целей были выполнены как скважинные исследования по методике МСП, так и сейсмоакустические наблюдения на поверхности. Так как нагнетания предполагались по всей площади дома, а перекрытия подвальных помещений не позволяли произвести профилирование внутри подвала, для решения поставленной задачи применили несколько нестандартный подход: для оценки состояния грунтового массива под основанием здания было выполнено поверхностное просвечивание по схеме, представленной на рис. 6.

Глубина преломляющего горизонта определялась по данным МСП (рис. 7а). Преломляющим горизонтом для продольных волн являлась кровля суглинков, залегающая на глубине примерно 5,5 м. Принципиальная идея выполненных поверхностных просвечиваний представлена на рис. 7б.

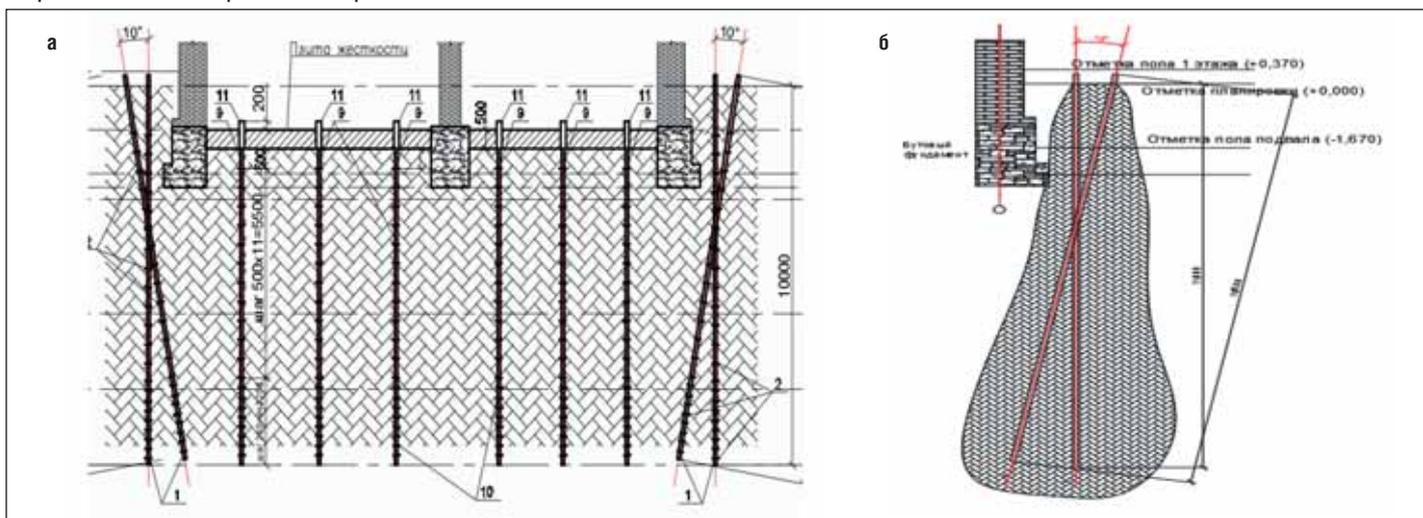
При поверхностном просвечивании регистрируются первые вступления преломленной головной и рефрагированных волн, скорость прохождения которых позволяет дать оценку о состоянии кровли преломляющих горизонтов и вышележащих грунтов, а при построении томографического изображения получить детальное изображение распределения скоростных характеристик грунтов под основанием здания по траектории распространения волн в массиве.

В результате выполненного поверхностного сейсмоакустического просвечивания под зданием был построен скоростной разрез, который характеризовал грунты под основанием здания (рис. 8).

В результате исследований были выделены участки как с относительно высокой, так и с относительно низкой скоростью распространения упругих волн. Чем выше скорость, тем, как правило, выше прочностные и несущие способности грунтов.

После инъекционных закреплений будет выполнен следующий цикл сейсмического

Рис. 5. Принципиальная схема инъекционных закреплений грунтового массива в основаниях зданий: а – положение инъекционных колон в основании здания; б – расчетная область закрепления от вертикальной и наклонной скважины



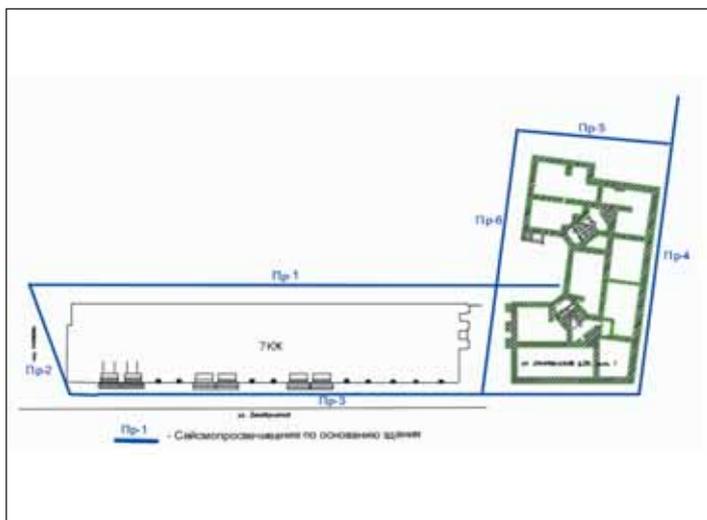


Рис. 6. Примененная схема просвечивания под основанием здания

просвечивания, и по изменению скоростного распределения сделан вывод о качестве укрепительных мероприятий.

Здесь стоит обратить внимание на интересный момент: в центральной части здания выделяются два участка (на рис. 8 обозначены 1 и 2) с аномально высокими скоростями упругих волн. По всей видимости, эти высокоскоростные зоны характеризуют остатки старого фундамента Литовского замка, сохранившегося под фундаментом современного дома.

Литовский замок – бывшая тюрьма в Санкт-Петербурге, в округе Коломна, у пересечения реки Мойки и Крюкова канала, напротив Новой Голландии. В 1929–1930 гг. он был разобран. На массивном и прочном фундаменте старого Литовского замка по проекту советских архитекторов был возведен жилой комплекс [10].

Выводы

Достаточно часто при решении различных инженерно-геологических или геотехнических задач исследователи сталкиваются с условиями, которые не позволяют применять стандартные подходы и методики. В таких ситуациях необходимо подбирать индивидуальные, а иногда совсем нестандартные подходы.

В основе нестандартного подхода при сейсмоакустических исследованиях ключевое место занимает выбор системы наблюдений, а именно взаимное расположение приемной косы и пунктов расположения источников. Геометрия наблюдений в свою очередь зависит от поставленной задачи, геометрических размеров исследуемого объекта, а также геологических и техногенных условий объекта исследований.

Отдельно стоит отметить, что исследования в виде поверхностного просвечивания могут быть очень эффективными при решении археологических задач.

Список литературы

1. Основы инженерной геофизики. А. А. Огильви, под редакцией В. А. Богословского. М.: Недра 1990. – 501 с.

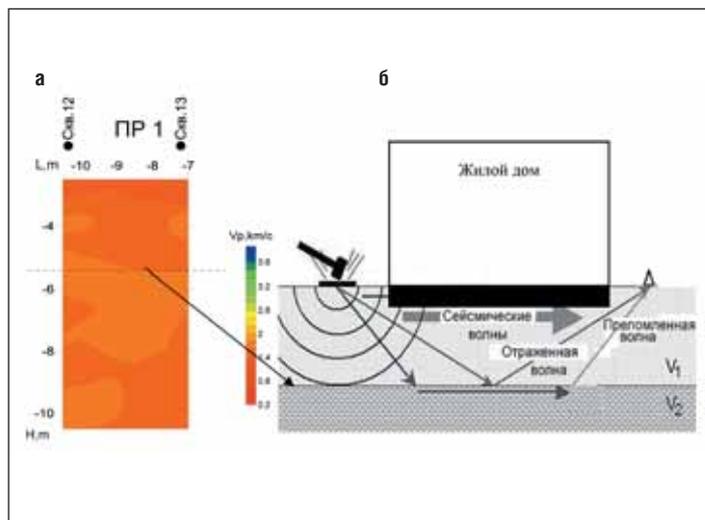


Рис. 7. Сейсмотомографический разрез МСП (а); принципиальная схема поверхностных просвечиваний (б)

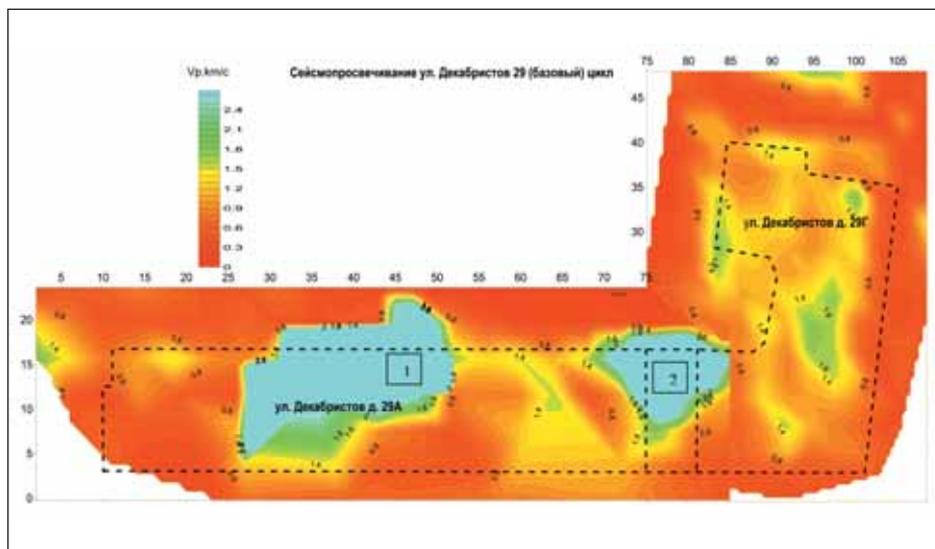


Рис. 8. Распределение скоростей продольных волн под домом

2. Dorokhin K., Boyko O. *Seismoacoustic monitoring to assess the quality of the execution of protective structures and compensatory strengthening of the soil massif. Engineering And Mining Geophysics 2018 – 14th Conference And Exhibition.*

3. Дорохин К. А. «Опыт применения скважинных сейсмоакустических исследований для оценки свойств, строения, структуры и состояния массива горных пород с использованием 2D и 3D построений» Горный информационно-аналитический бюллетень № 5/2019, с. 80–88.

4. Исаев Ю. С., Дорохин К. А., Бойко О. В. Опыт применения сейсмоакустической томографии для оценки сплошности ограждающих конструкций типа «стена в грунте» Сборник статей «Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения» М.: «Перо» 2021. с. 97–105.

5. Миндель И. Г., Севостьянов В. В., Трифонов Б. А., Рагозин Н. А. Сейсмическое просвечивание грунтов в основании существующих сооружений. *Геоэкология*, 2017, № 2, с. 65–73.

6. G. Fernández, T. Teixidó, J. A. Peña, F. Burillo, J. Claros. *Using shallow geophysical methods to characterize the monumental building at the Segeda.*

7. Фоменко Н. Е., Капустин В. В., Гапонов Д. А., Фоменко Л. Н. Исследование техногенного закрепленных грунтов основания фундаментов радиолокационным и сейсмическими методами в условиях длительно эксплуатируемого объекта культурного наследия. *Известия Томского политехнического университета*, 2018, № 8. с. 16–29.

8. Болгаров А. Г., Рослов Ю. В. Межскважинная сейсмическая томография для решения инженерно-геологических задач / *Технологии сейсморазведки*. 2009, № 1. с. 105–111.

9. Шишкина М. А., Фокин И. В., Тихоцкий С. А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой сейсмической томографии. *Технологии сейсморазведки*, 2015, № 1, с. 5–21.

10. https://ru.wikipedia.org/wiki/Литовский_замок.

Для связи с авторами

Дорохин Кирилл Александрович
d.k_a@mail.ru



ХАРАКТЕРНЫЕ ТРЕНДЫ РАЗВИТИЯ И ЦЕНА АВАРИЙ В СОВРЕМЕННОМ ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

CHARACTERISTIC DEVELOPMENT TRENDS AND PARAMETERS OF TUNNEL CONSTRUCTION AND THE COST OF ACCIDENTS IN MODERN TUNNEL ENGINEERING

В. Е. Меркин, д. т. н., Е. Н. Петрова, к. т. н., «НИЦ Тоннельной ассоциации»

V. E. Merkin, Dr. Sci. (Engineering), E. N. Petrova, Ph.D., Scientific and Engineering Centre of Tunnel Association

Рассмотрены вопросы развития современного тоннелестроения, которые характеризуются ростом размеров сооружений и стоимости строительства. Проанализированы нештатные ситуации и их последствия. Ущерб от преодоления последствий нештатных ситуаций может многократно превосходить затраты на дополнительные изыскания и защитные мероприятия, поэтому оценивать и предотвращать возможные риски необходимо еще на стадии проектирования и мониторинга при строительстве.

Issues of modern tunneling engineering characterized by an increase in the size of structures and construction costs are considered in the article. Incidental situations and their consequences are analyzed. Damage from overcoming the consequences of emergency situations may exceed many times the cost of additional surveys and protection facilities, therefore it is necessary to evaluate and prevent possible risks at the stage of design and monitoring during construction.

Одним из основных условий развития городов и роста экономики в развитых странах мира является совершенствование транспортных связей внутри мегаполисов и между ними, во многом за счет строительства подземных сооружений. Так, интерполируя оценку Международной тоннельной ассоциации (МТА) [1], согласно которой еще в 2016 г. в мире насчитывалось около 40 тыс. тоннелей различного назначения с ежегодным приростом примерно по 5200 км, в 2022 г. общее количество тоннелей может приблизиться к 50 тыс. Основной объем строительства приходится на страны Европы (~40%), Азиатско-Тихоокеанского региона и США (по 15%) и примерно по 10% Ближнего Востока и Африки (около 10%) [2]. При этом объемы строительства транспортных тоннелей и метрополитенов существенно, почти в два раза, превышают объемы строительства тоннелей другого назначения (рис. 1). В 2019 г. объем мирового рынка строительства тоннелей и метро составил 475,9 млн долларов США и ожидается, что к концу 2026 г. он достигнет 658,7 млн долларов США, а среднегодовой темп роста составит 4,7% в течение 2021–2026 гг. [3].

Характерной чертой современного тоннелестроения является также увеличение размеров поперечного сечения сооружений независимо от способа строительства. Особенно это показательно при использовании щитов с активным пригрузом забоя, входящих в состав тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), что наряду с повышением пропускной способности сооружения позволяет эффективно организовать в нем движение различных видов транспор-

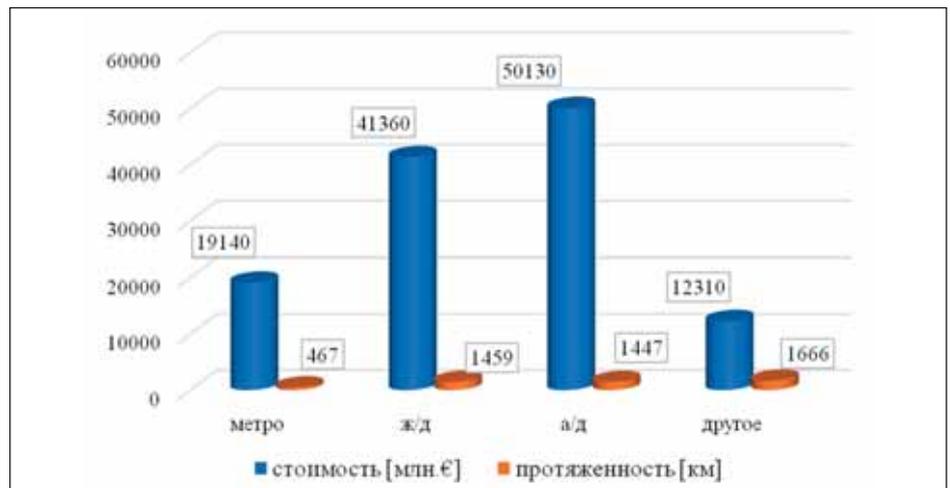
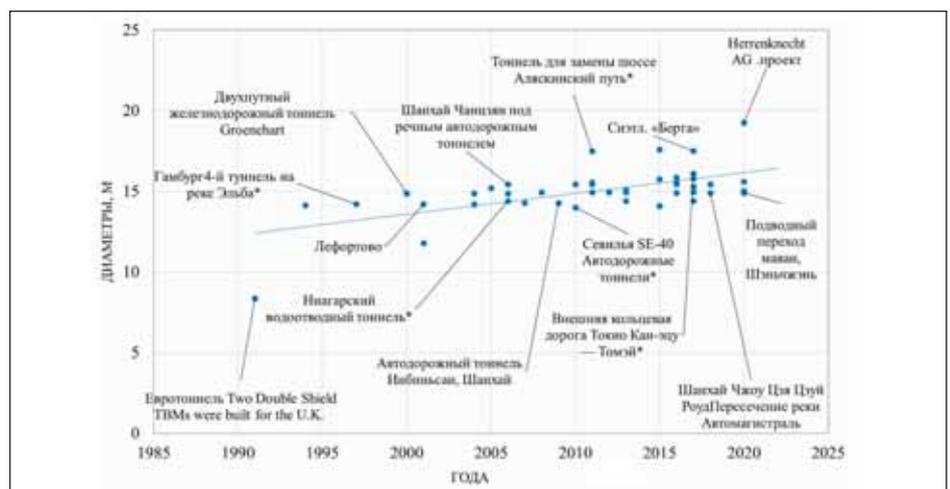


Рис. 1. Примерное распределение объемов строительства тоннелей разного назначения в 2019 г.

Рис. 2. Иллюстрация тенденции к росту диаметра щитов в транспортном тоннелестроении за последние 30 лет



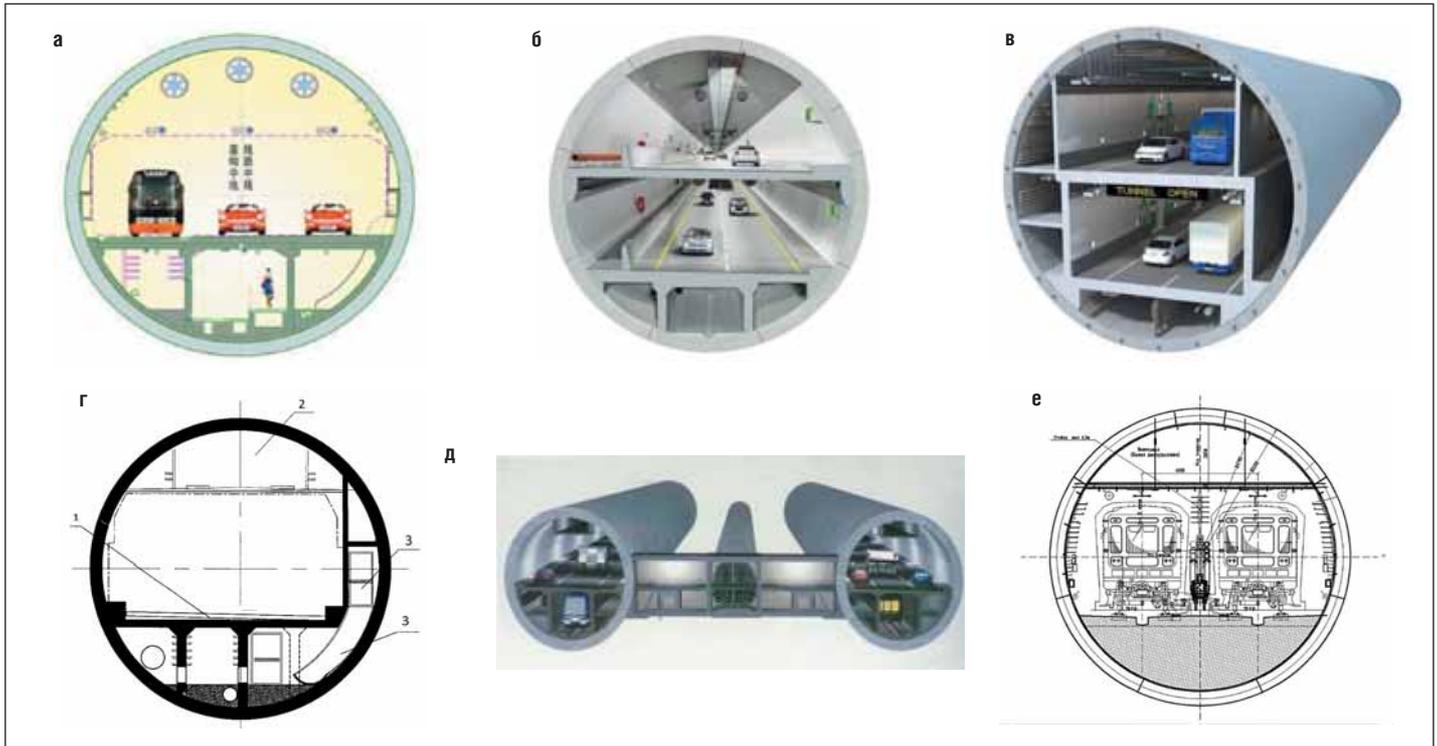


Рис. 3. Примеры рационального использования внутреннего пространства большеразмерных тоннелей: а – автодорожные тоннели диаметром 15 м под р. Янцзы в Китае, 2014 г.; б – тоннель «Евразия» под Босфором диаметром 13,7 м в Стамбуле, 2016 г.; в – автодорожный тоннель диаметром 17,6 м в Сиэтле США, 2019 г.; г – Лефортовский тоннель глубокого заложения диаметром 14,2 м с эвакуацией под плитой проезжей части в Москве, 2003 г.; д – комплекс Северо-Западных тоннелей диаметром 14,2 м для совмещенного движения автотранспорта и поездов метро в Москве, 2007 г.; е – двухпутные перегонные тоннели Московского (Д_{вн} 9,6 м) и Санкт-Петербургского (Д_{вн} 9,4 м) метрополитенов

та и эвакуацию граждан при чрезвычайных ситуациях (см. примеры на рис. 2 и 3 [4]).

Тенденция к росту наблюдается также по стоимости сооружений, как при закрытом способе работ, так и при открытом (рис. 4 [4]). При этом уже длительное время примерная цена щитов с активным пригрузом забоя составляет без учета инфляции примерно от 1 до 1,2 млн € за 1 м диаметра ротора при общей стоимости ТПМК на 30–40 % больше [4], затраты на изготовление кольца сборной водонепроницаемой железобетонной обделки для тоннелей диаметром 6 и 10 м – примерно 1,58 и 1,31 тыс. \$, соответственно [5].

Сопоставление затрат на строительство 1 км линии метрополитена по разным странам показывает (см. [5] и табл. 1), что в 2018 г. наиболее высокая стоимость приходилась на США (до 4 млрд \$) и Великобританию (до 1 млрд \$). На втором месте Нидерланды (до 0,41 млрд \$) и Япония (до 0,35 млрд \$). На третьем – Германия (до 0,25 млрд \$), Франция (до 0,23 млрд \$) и Сингапур (до 0,22 млрд \$). В России этот показатель (до 0,18 млрд \$ в Санкт-Петербурге и до 0,12 млрд \$ в Москве) находится на уровне Испании (до 0,17 млрд \$), Канады (до 0,15 млрд \$), Швейцарии (до 0,136 млрд \$), Италии (до 0,130 млрд \$) и Южной Кореи (до 0,110 млрд \$).

По данным портала mos.ru [6] на 2022 г.: «В Москве средняя стоимость строительства 1 км линии метрополитена со станционным комплексом составляет: для глубокого заложения 7 млрд руб., срок строительства от

пяти до шести лет; для мелкого заложения – 4,5 млрд руб., срок – от двух до трех лет.»

Высокая стоимость, социальная востребованность и повышенные требования к эксплуатационной надежности объектов подземного строительства определяют необходимость принятия исчерпывающих мер по минимизации рисков разного рода нештатных, т. е. не предусмотренных проектом и/или норматив-

ными требованиями, ситуаций (НС) как при их строительстве, так и при эксплуатации. Жертвами НС часто становятся люди.

Ежегодные смертельные случаи при строительстве тоннелей, например, в Японии [8] составляли более 50 чел. в год до тех пор, пока с 1978 г. не стали применять технологию Новоавстрийского способа (NATM), сократившего этот показатель примерно до

Рис. 4. Стоимость сооружения 1 км щитовой проходки для различных диаметров ТПМК в период с 2001 по 2013 гг.

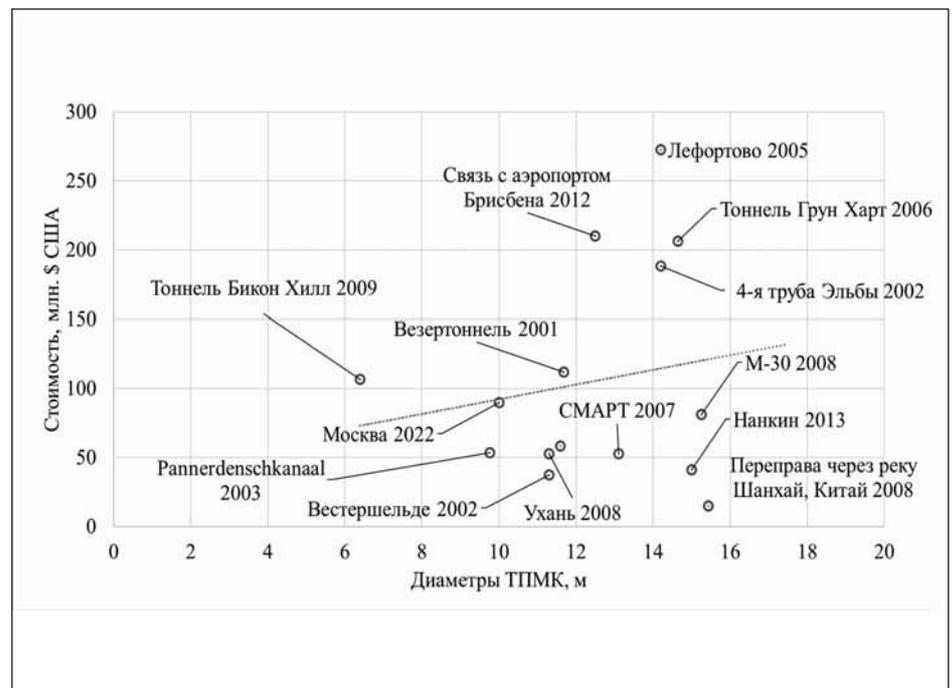


Таблица 1

Стоимость сооружения 1 км линии метрополитена в мегаполисах мира [7]

Город	Проект	Цена в млн долларов за 1 км
Нью-Йорк (США)	Доступ в Ист-Сайд	4000
	Вторая авеню Метро Фаза 1	1700
Лондон (Великобритания)	Кроссрейл	1000
Сан-Франциско (США)	Центральное метро	500
Сингапур (Сингапур)	Сингапур Центр MRT Линия	490
	Сингапур Север-Юг	64
Амстердам (Нидерланды)	Линия Север-Юг Амстердам	410
Окленд (Новая Зеландия)	Городское железнодорожное сообщение	410
Будапешт (Венгрия)	Метро Линия 4	360
Токио (Япония)	Линия Тоэй Оэдо	350
Фукуока (Япония)	Расширение линии Нанакума	320
Париж (Франция)	Метро Линия 14	230
Копенгаген (Дания)	Копенгагенская кольцевая линия	170
		170
Барселона (Испания)	Линия L9/10	40
	Сантс-Ла Сагрера Тоннель	130
Неаполь (Италия)	Линия метро 6	110
Милан (Италия)	Метро Линия 5	90
Сеул (Корея)	Линия Син-Бундан Лайн	40
	Метро Линия 9	70
Хельсинки (Финляндия)	Линия Вестметро	66,3
Ханой (Китай)	Линия 2А	83,3
Гуанчжоу(Китай)	Линия 1	69
Джакарта (Индонезия)	Север-Юг	73,9
Бангкок (Таиланд)	BTS Skytrain	90
Москва, РФ	Перегонные тоннели метро	

10–20 чел. в год. Однако соотношение смертельных случаев в тоннелях ко всей строительной отрасли оставалось почти постоянным с 1987 по 2015 г., составляя около 2 % (рис. 5).

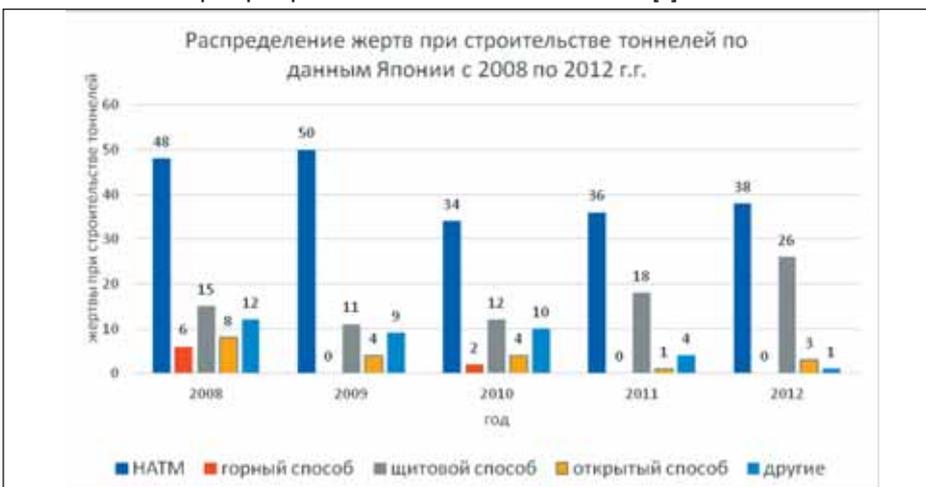
Существенный урон наносят НС и при эксплуатации ПСТН. Так, из-за случившихся с 1949 по 2004 г. 130 пожаров в тоннелях (включая тоннели метрополитенов) погибло 1187 человек [8].

Крупнейшими авариями в метрополитенах были пожар в Баку (1995 г.) и Париже

(1903 г.) от неисправности оборудования, которые унесли жизни соответственно 289 и 100 человек [9]. В аварии, приведшей к пожару в тоннеле Каплун в Австрии (2000 г.), погибли 155 человек. При сходе поезда в метро у станции «Парк Победы» в Москве (2014 г.) пострадало 217 чел., из которых 24 погибло.

В Китае с 2001 по 2019 г. на 156 автомобильных тоннелях было зафиксировано 2705 аварии, в которых погибло 149 и было ранено 259 человек [10].

Рис. 5. Количество жертв при строительстве тоннелей с 2008 по 2012 г. [6]



В действующих метрополитенах России с 1980 по 2021 г. по разным причинам произошли 32 НС, в которых пострадали 463 человека, в том числе 40 погибших, что сопоставимо с известными случаями из мировой практики.

Основными причинами НС являются ошибки проектирования (41 %), дефекты конструкций (21 %), форс-мажорные обстоятельства (18 %), неверные данные о грунтовых условиях (12 %), недостатки информационного характера при взаимодействии подрядчиков проекта (8 %), а формами их проявления в строительстве: разрушение отделки (36 %), нарушение дневной поверхности (28 %), чрезмерные деформации внутри тоннеля или на поверхности (11 %), затопление или чрезмерное поступление воды (9 %), вывалы пород (7 %), неверное размещение сооружения (6 %), горные удары (1 %).

Частота аварий в зависимости от метода строительства распределяется следующим образом: Новоавстрийский способ – от 28 до 48 %; при щитовой проходке – 38–25 %; при буровзрывном способе – 16–12 %; при открытом способе – 7–3 %.

О взаимосвязи между ущербом, стоимостью и увеличением времени работ на преодоление НС дают представление построенный на основе статистических данных [5] график на рис. 6 и данные табл. 2.

В разных странах, при сотрудничестве заинтересованных организаций, ведется целенаправленная работа по систематизации НС. Соответствующие данные могут быть сопоставлены как по каждой стране, так и по разным странам, чтобы получить примерную картину аварийности и выделить наиболее уязвимые этапы проектов, определить стоимость и длительность преодоления НС.

Так, достаточно представительный объем статистических данных об аварийности в подземном строительстве, собранных в разное время в разных странах, показывает, что, в отличие от других сооружений, число обрушений тоннелей зависит от периода строительства. Согласно этим данным только 8 % всех обрушений произошло во время эксплуатации. В период с 1960 по 2000 г. тенденция роста аварийности сохранялась с высокой частотой до 0,001 в год, далее динамика изменения аварийности до 2020 г. показала тенденцию к уменьшению до 0,0001 в год.

Случайные воздействия, такие как землетрясения и наводнения, которые доминируют при обрушении других сооружений, составляют лишь от 10 до 20 % всех обрушений в тоннелях, остальные НС приходится на период строительства. Практически 80 % аварий НС можно прогнозировать, а лишь 18 % приходится на форс-мажорные обстоятельства.

Важнейшим из видов риска, влекущим негативные, в том числе аварийные ситуации, является геотехнический риск, усугубляемый для многих мегаполисов как, например, в Москве, широкомасштабным развитием высотного строительства, в результате которого неизбежно возникают значительные нагрузки на отделку эксплуатируемых подземных сооружений, находящихся в зоне строительства.

Таблица 2

Примеры ущерба от нештатных ситуаций (НС) в подземном строительстве

Время преодоления НС, мес.	Затраты, млн долларов	Год	Описание НС	Объект
3	42	1999	Пожар, погибло 12 чел., ранено 42 чел.	Тоннель Тауэрн, Австрия / Франция / Великобритания
6	141	1994	Разрушение обделки при НАТМ, воронка обрушения 10 м до поверхности, пострадавшие здания	Хитроу Экспресс Линк, Великобритания
7	375	1996	Пожар, повреждение обделки с 40 см толщиной до 20 см и даже 2 см	Евротоннель под Ла-Маншем, Франция / Великобритания
9	24	2000	Обрушение стены крепления котлована, обрушение соседних домов	Метро Тэгу, Корея
10	4	1994	Обрушение обделки НАТМ, кратер до поверхности шириной 20 м и глубиной 18,5 м, затопление	Мюнхенский метрополитен, Германия
24	125	2005	Обрушение обделки НАТМ при пересечении неучтенной зоны разлома за обделкой. Образовался кратер шириной 30 м и глубиной 32 м	Барселонский метрополитен, Испания
24	126	2005	«Стена в грунте» из ГЦС повреждена при выходе ТПМК в котлован. Воронка обрушения – от 10 до 50 м с осадками от 50 см до 1,5 м	Метро Гаосюн, Kaohsiung, Тайвань
24	223	2019	Несколько резцов ТПМК были повреждены в результате удара о стальную трубу. Далее авария произошла из-за разрушения пирса рядом с местом проходки пришвартованной баржей	Щит Берта США, тоннель в Сиэтле
26	55	1999	Обрушение при проходке ТПМК	Тоннель Халл Йоркшир, Великобритания
36	80	2004	Обрушение стен котлована. Площадь обрушения 100 м на 130 м глубиной до 15 м. Пострадали 15000 человек и 700 предприятий	Сингапурский метрополитен, Сингапур
36	525	1999	Пожар, погибло 39 человек, ранено 10 чел.	Тоннель Монблан, Ш/А
47	80	2003	Нарушение технологии при проходке ТПМК с ущербом высотным зданиям и дамбе	Шанхайский метрополитен, КНР
102	145	1995	Прорыв в действующий тоннель пльвуна	Разрыв метрополитен Санкт-Петербурга, РФ

К этим условиям в последнее десятилетие добавились характерные для фактических масштабов освоения подземного пространства в столице риски, связанные с вовлеченностью в процесс большого числа непрофильных специалистов и организаций.

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить следующее.

1. Последние несколько десятилетий развитие тоннелестроения характеризуется интенсивным внедрением большеразмерного автоматизированного оборудования и технологий, требующих высокой квалификации персонала и детальной информации об условиях строительства и эксплуатации сооружения.

2. Ущерб от преодоления последствий НС может многократно превосходить затраты на дополнительные изыскания и защитные мероприятия.

3. Учитывая, что почти 80 % НС можно прогнозировать, а лишь 18 % приходится на форс-мажорные обстоятельства, оценивать и предотвращать возможные риски необходимо еще на стадии проектирования и мониторинга при строительстве.

Список литературы

1. ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems Part A Civil Engineering 7(2):04021004. June 2021 Revised Comparison of Tunnel Collapse Frequencies and Tunnel Failure Probabilities. Panagiotis Spyridis, Dirk Proske. Bern University of Applied Sciences.

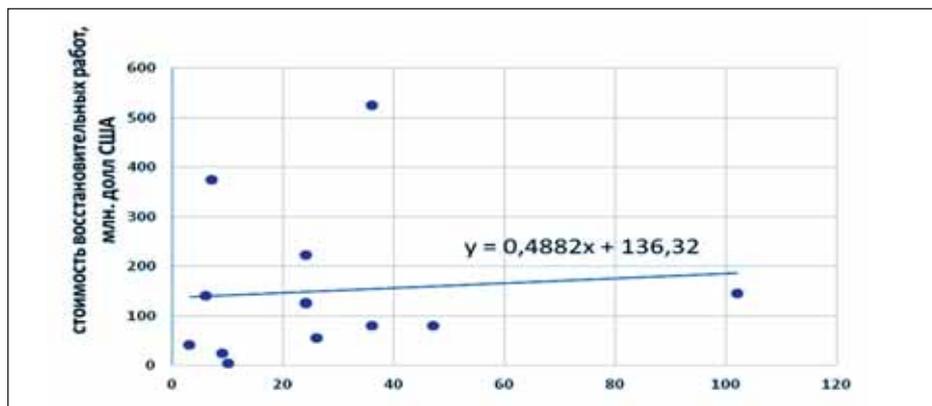


Рис. 6. Взаимосвязь между затратами (млн \$) и увеличением времени работ (в месяцах) на ликвидации НС в подземном строительстве

2. Tunnel Market Survey – © ITA-AITES 2019.
 3. Cost benefits of large-diameter bored tunnels (tunneltalk.com) Tunnel TECH / Apr 2015 Arup North America Ltd, Washington, US.
 4. Меркин, В. Е. Подземные сооружения транспортного назначения: учебное пособие / В. Е. Меркин, М. Г. Зецуалов, Е. Н. Петрова. – Москва: Инфра-Инженерия, 2020. – 432 с.
 5. The costs of tunnelling – Greater Auckland/ The costs of tunnelling/ Peter Nunns | October 5, 2016.
 6. Сколько стоит строительство метро. – Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы (mos.ru).
 7. To Build a Tunnel Boring Machine: Why Assembly on Location is the Next Big Advancement Lok Home The Robbins Company, USA, 2010, 13_OFTA_UDCC15.pdf (robbinstbm.com).

8. D1.2a Report: Version: 12th of March 2004 Causes and Frequency of Incidents in Tunnels Prof. Ing. Konrad Bergmeister Dr. Ing. Sandro Francesconi Autostrada del Brennero SpA Trento (Italy), 27th of February 2004.
 9. Advance Publication INDUSTRIAL HEALTH Received: October 31, 2014 Accepted: May 9, 2015 J-STAGE Advance Published Date: May 29, 2015].
 10. Revised Comparison of Tunnel Collapse Frequencies and Tunnel Failure Probabilities Panagiotis Spyridis, Dr.Eng., CEng1; and Dirk Proske2 ASCE-ASME J. Risk Uncertainty Eng. Syst., Part A: Civ. Eng., 2021, 7(2): 04021004.

Для связи с авторами

Меркин Валерий Евсеевич
 mve11@inbox.ru



ПРОБЛЕМАТИКА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ КАДРОВ В ОБЛАСТИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

PROBLEMS OF TRAINING SPECIALIZED PERSONNEL IN THE FIELD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

Я. В. Мельник, к. т. н., В. А. Черняева, к. т. н., ПГУПС, Санкт-Петербург

Y. V. Melnik, Cand. of Techn. Sc., V. A. Chernyaeva, Cand. of Techn. Sc., PGUPS, St. Petersburg

В системе рыночных отношений высшее образование находится под давлением интересов и требований субъектов одновременно двух рынков: рынка образовательных услуг и рынка труда. С одной стороны, вузы предоставляют обществу образовательные услуги, непосредственными потребителями которых являются студенты. С другой стороны, на рынке труда они представляют результаты своей деятельности – специалистов, освоивших определенную образовательную программу, потребителями которых являются предприятия и организации различных отраслей экономики. Поэтому наличие тесных взаимосвязей между вузами и работодателями является объективной необходимостью их эффективного функционирования.

В настоящее время можно выделить множество заинтересованных сторон, участвующих в оценке качества образования и заинтересованных в его повышении. Вместе с тем критерии оценки могут кардинально различаться между собой и рассматриваться весьма упрощенно (табл. 1). Между тем, проблема оценки качества образования гораздо глубже и серьезнее.

Последние два года показали, что образование уже не станет прежним. Трансформация находится в активной фазе. И это связано не только с вынужденным временным переходом на формат дистанционного обучения. Скорость изменений внешнего современного мира растет. И вызовы, на которые необходимо реагировать, очевидны:

- быстрый результат, т. е. время формирования навыков и получения опыта, адаптация выпускников под профессиональную деятельность должны стать минимальными и рождаться уже в процессе обучения;
- гибкость мышления, стрессоустойчивость, самоактуализация – необходимые качества для молодых специалистов;
- профессиональная роль преподавателя требует качественных изменений: переход от процесса передачи знаний к процессу трансформации личности.

Ключевым событием 2022 г. стал новый подход к оценке качества образования со стороны государства: от государственной аккредитации к мониторингу. На наш взгляд, стратегическими результатами процесса реформирования института государственной аккредитации должна стать фокусировка большего

внимания государства, как ключевого участника обеспечения качества национальной системы образования, к миссии и программам развития вузов, вкладу вузов в достижение национальных и глобальных целей, большей автономии и гибкости в реализации механизмов обеспечения качества образования, существенного изменения подходов не только к оценке, но и к управлению качеством образования за счет смещения акцентов с контролирующих и надзорных мероприятий на превентивные, в том числе через управление рисками, идей проектного управления.

Но стоит отметить, что внедрение и реализация любых изменений на законодательном уровне, как правило, требуют от управленческой команды и коллектива вуза дополнительных усилий, в том числе и не всегда оправданных. Например, любая уточняющая редакция пункта статьи федерального закона или федерального государственного образовательного стандарта влечет за собой необходимость актуализации основных, вспомогательных, обеспечивающих процессов университета не только «на бумаге», но и в реальной деятельности, а это всегда – дополнительные временные, финансовые и челове-

Таблица

Заинтересованная сторона	Процедура оценки качества	Критерий качества образовательной программы «Тоннели и метрополитены» (специальность «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»)	Результаты оценивания
Минобрнауки России, Рособрназор	Государственная аккредитация Госконтроль Аккредитационный мониторинг	Требования ФГОС к результатам обучения (универсальные компетенции + результаты обучения, сформулированные по профессиональному стандарту)	Выдача/отзыв свидетельства о государственной аккредитации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта (Росжелдор), Минтранс России	Оценка деятельности образовательной организации, в целом	----	----
Объединение работодателей	Профессионально-общественная аккредитация	Результаты обучения, сформулированные по профессиональному стандарту: обобщенные трудовые функции; трудоустройство; знания; умения; трудоустройство	Соответствие/ несоответствие профессиональному стандарту
Работодатель	Оценивание результатов прохождения практики студентов Участие в работе государственных экзаменационных комиссий	???	???

ские ресурсы: от трансформации мышления сотрудников и вовлечения их в достижение новых результатов до оценки полученных от нововведений ценности и результатов.

Рассмотрим оценку качества образования через призму пока единственного нормативного документа, определяющего требования к знаниям и умениям выпускника, установившего трудовые функции работника – профессионального стандарта.

Еще в 2018 г. вступил в силу образовательный стандарт, определяющий совокупность образовательных требований к программам высшего образования.

Это документ, на основании которого вуз разрабатывает все документы, определяющие чему, когда и как мы будем учить наших студентов. А это и есть сама образовательная программа, в которой четко определяются компетенции, которыми должен овладеть студент.

Так вот основной идеей этого стандарта и, как следствие, всех дисциплин и т. д. является идея формирования требований к результатам освоения программы в виде компетенций. Профессиональные компетенции формируются на основе профессиональных стандартов, соответствующих профессиональной деятельности выпускников, а также на основе анализа требований к профессиональным компетенциям, передаваемых к выпускникам на рынке труда, обобщение отечественного и зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями и т. д.

Однако только в апреле 2022 г. вступил в силу профессиональный стандарт «Специалист в области проектирования транспортных тоннелей» в описании трудовых функций которого есть упоминание о «разработке проектной продукции по отдельным узлам и элементам транспортных тоннелей», то есть «по подготовке проектной продукции по тоннелям в целом», но нигде нет упоминания о «разработке проектов организации строительства и разработке технологических процессов по строительству, капитальному ремонту и реконструкции тоннелей».

На наш взгляд, учитывая профессиональную специфику специалистов в области освоения подземного пространства, отсутствует понятие конструктивных решений как таковых, а существует понятие конструктивно-технологических решений, дающее глубокое понимание связи между способом строительства объекта и его конструкцией. В этой связи, становится не очень понятно, как специалист в области проектирования транспортных тоннелей сможет принимать действительно грамотные, профессиональные инженерные решения. Если говорить о вузах, которые должны реализовывать свои образовательные программы, то часть дисциплин, касающихся вопросов организации строительства тоннелей, капитального ремонта и реконструкции тоннелей, вообще не подтверждена требованиями профессионального стандарта.

Кроме этого, область деятельности по проектированию (в частности, в СРО) вхо-



дят работы по обследованию тоннелей, о чем тоже нет упоминания в стандарте.

Рассмотренный пример не полного описания трудовых функций специалиста в области проектирования транспортных тоннелей, является не единственной преградой для решения первостепенной проблемы образования, а именно это одинаковое видение результата образования всеми участниками образовательного процесса и его потребителя, т. е. работодателя.

В связи с этим определены следующие ключевые проблемы обеспечения высокого качества подготовки инженерных кадров для подземного строительства.

1. Профессиональный стандарт «Специалист в области проектирования транспортных тоннелей» не определил все трудовые функции и, как следствие, профессиональные компетенции, необходимые для подготовки инженерных кадров.

2. Прохождение производственной практики, включенной в образовательную программу, которое невозможно реализовать в вузе, проходит зачастую формально. В этом есть и объективные причины: отсутствие системы наставников, отсутствие материального поощрения за работу со студентами и просто занятость специалистов.

3. Недостаточно развита система целевого обучения, хотя в законе об образовании четко определен перечень организаций, имеющих право на оформление договоров целевого обучения, как механизма решения стратегической задачи подготовки кадров.

4. Практически отсутствует доступность к актуальной документации по современным конструктивно-технологическим решениям в нашей области.

5. Стажировки преподавательского состава, которые бы проходили на ведущих предприятиях и программу которых определял бы работодатель, носят характер разовых мероприятий, а не являются систематической практикой.

6. Реальное дипломное проектирование не может проходить без доступа к реальным геоподосновам и архивным данным, которого студент не имеет.

В связи с вышесказанным, крайне необходима фокусировка и включенность самого работодателя как ключевого участника обеспечения качества образования по каждой отдельно взятой образовательной программе.

Резюме

1. Необходимо сформулировать «Единые» результаты обучения со стороны вуза и работодателя по образовательной программе «Тоннели и метрополитены» (специальность «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»).

С этой целью провести анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам на рынке труда, обобщения отечественного и зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники, иных источников.

2. Для ликвидации разницы в требованиях профессионального стандарта и реальными требованиями работодателей к компетенциям выпускника – организовывать и проводить дополнительное обучение студентов и выпускников по технологиям повышения квалификации, авторских классов, профессионального обучения.

3. Развитие системы целевого обучения по образовательной программе «Тоннели и метрополитены» (специальность «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей»).

Для связи с авторами

Мельник Яна Владленовна
melnik-yana@yandex.ru

Черняева Виктория Андреевна



ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В ТОННЕЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

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

Из-за введенных санкций многие зарубежные фирмы перестают поставлять и поддерживать свою продукцию в России. В связи с этим фирма ООО «Навигатор» предлагает устанавливать на тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК) нашу отечественную навигацию – систему навигации призмную (SN-P).

Наша навигация, на сегодняшний день, была установлена на 20-ти щитах фирм Lovat, Bessac, Robbins, NFM и на щите Скуратовского экспериментального завода. Эти щиты вели проходку тоннелей в Москве, Санкт-Петербурге, Казани, Омске, Новосибирске и Архаре.



Дисплей программы навигации

Кабина машиниста



Тахеометр

SN-P имеет тот же функционал, что и импортные навигации:

- визуализация положения щита в графическом и цифровом виде;
- модуль построения клиновидных колец;
- трассовый редактор;
- база данных пройденных проходок и просмотр ее в виде истории и диаграммы;
- отчеты по каждой проходке, а так же ведение щита по корректирующей кривой.

Но в отличие от импортных программ, мы можем предоставить возможность использовать тахеометр-робот не только фирмы Leica со встроенным лазером повышенной мощности (GUS), но и тахеометр фирмы Topcon, а также другие роботизированные тахеометры, не имеющие GUS, так как наша система не использует мишень, а только простые призмы или мото-призмы.

В последнее время успешно решается и важная задача – получение данных по выдвигению штоков гидроцилиндров в упорных и артикуляционных домкратах. На четырех последних щитах этот вопрос решен, ну а на щитах, изготавливаемых в России, этот вопрос вообще не стоит.

Для связи с авторами

Стафеев Геннадий Михайлович
Леонов Александр Григорьевич
leonov1954@mail.ru





Исполнилось 10 лет со дня кончины одного из основателей Тоннельной ассоциации России, руководителя ее Исполнительной дирекции, известного специалиста в области подземного строительства Сергея Николаевича Власова.

Редакция журнала «Метро и тоннели» сочла целесообразным опубликовать одну из последних статей Сергея Николаевича, которая не потеряла актуальность и в наши дни.

ОПЫТ И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОННЕЛЬНОГО И ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

С. Н. Власов, первый заместитель председателя правления Тоннельной ассоциации России

В России, как и во многих странах мира, происходит стремительное увеличение объемов подземного строительства, несмотря на его высокую стоимость, сложность и трудоемкость. Эта общемировая тенденция особенно ярко проявилась с конца прошлого столетия, что вызвано следующими обстоятельствами.

Прежде всего – это бурное развитие межрегиональных и межгосударственных транспортных связей и большое строительство скоростных железнодорожных и автомобильных магистралей, обеспечивающих движение со скоростями 250–350 км/ч, а также прокладка магистральных нефтепроводов и газопроводов. Преодоление горных хребтов такими магистралями вызывает необходимость увеличения доли тоннельных

пересечений и строительства протяженных базисных тоннелей длиной 8–10 км и более.

Другим обстоятельством, повлиявшим на развитие строительства подземных сооружений и тоннелей, является бурный рост городов, являющихся административно-культурными и промышленными центрами стран и регионов. Постоянный рост населения, дефицит городских территорий, скопление транспортных средств на улицах, вызывающих загрязнение окружающей среды, требуют активного использования подземного пространства для размещения предприятий городской инфраструктуры – метрополитенов, транспортных и инженерных систем, объектов торговли и бытового обслуживания, складов, гаражей и автостоянок, зрелищных предприятий и других объектов.

Подземные сооружения нового века

Продолжается строительство метрополитенов. В настоящее время метрополитены эксплуатируются и строятся в семи городах России – в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Екатеринбурге, Самаре, Казани, проектируются и строятся в Омске, Челябинске, Уфе и Красноярске. Общая сеть построенных линий метрополитенов в России составляет более 400 км. Крупнейший в стране Московский метрополитен имеет протяженность линий 280 км. В 2005 г. здесь построена первая линия «мини-метро» со станцией «Деловой центр» (рис. 1).

Уже в последние годы введены в действие новые участки линий метро в Санкт-Петербурге, Новосибирске, Екатеринбурге. В 2005 г. введен в эксплуатацию седьмой метрополи-

Рис. 1. Станция «Деловой центр», платформа и балкон над путями (Московский метрополитен)





Рис. 2. Станция «Кремлевская» (Казанский метрополитен)

тен России в Казани (рис. 2), протяженность линии которого составляет 6,8 км.

В Санкт-Петербурге в 1996 г. впервые на наших метрополитенах построена подземная двухъярусная станция «Спортивная», в настоящее время завершается строительство большого пересадочного узла под Сенной площадью. С применением новых конструкций и технологий в сложных гидрогеологических условиях в 2004 г. закончена реконструкция участка между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» (рис. 3).

На Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, строительство которой осуществлял Минтрансстрой в сложных климатических, топографических и инженерно-геологических условиях, завершено сооружение в декабре 2001 г. Северомуйского тоннеля длиной 15,3 км (рис. 4) – самого длинного железнодорожного тоннеля в России.

На сети железных дорог широко развернулась достройка тоннелей, строительство которых было начато еще в 80-е годы прошлого столетия и временно приостановлено из-за финансовых трудностей. В Сибири на вторых путях железнодорожной линии Аба-

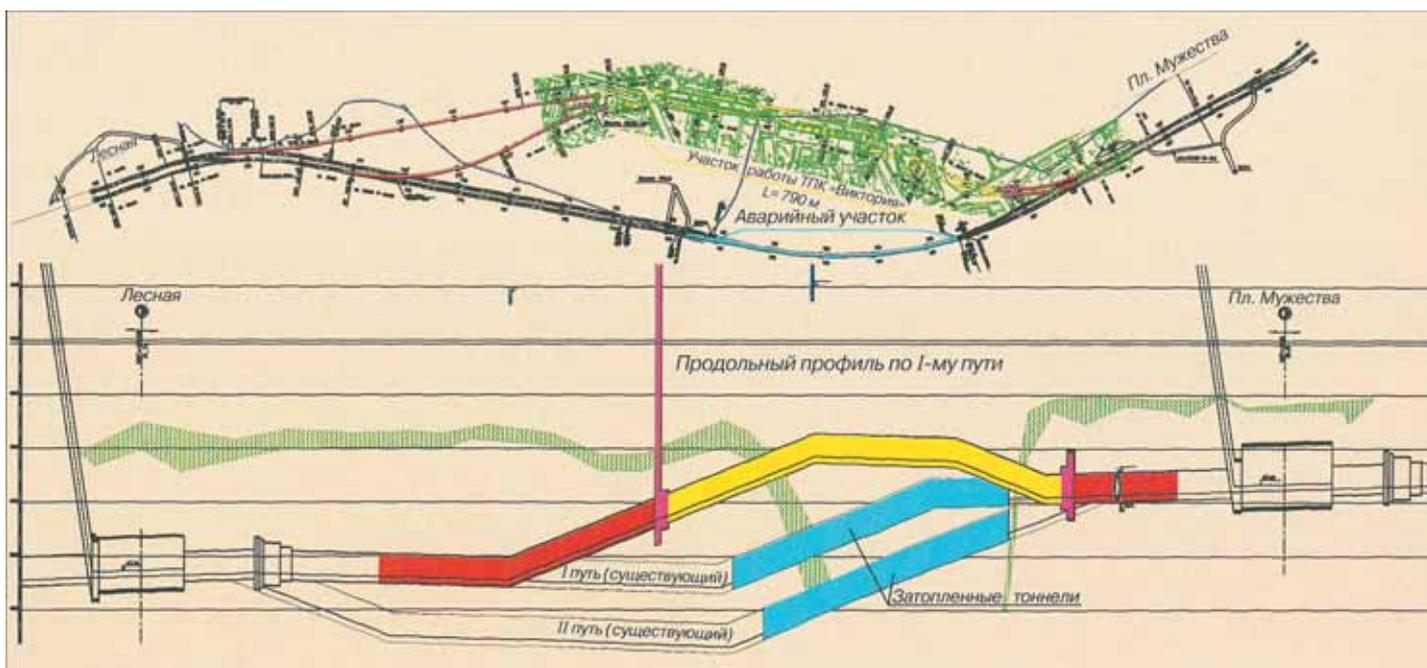
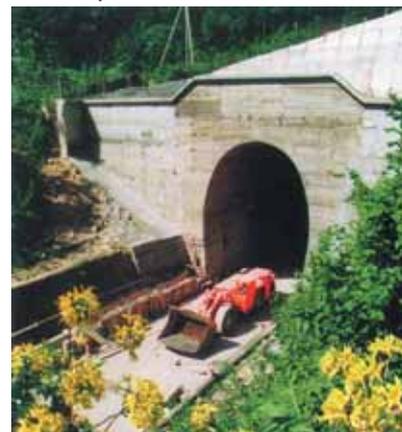


Рис. 3. План и продольный профиль перегонных тоннелей на участке разрыва между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» Петербургского метрополитена

Рис. 4. Северомуйский тоннель



Рис. 5. Портал Рачинского тоннеля



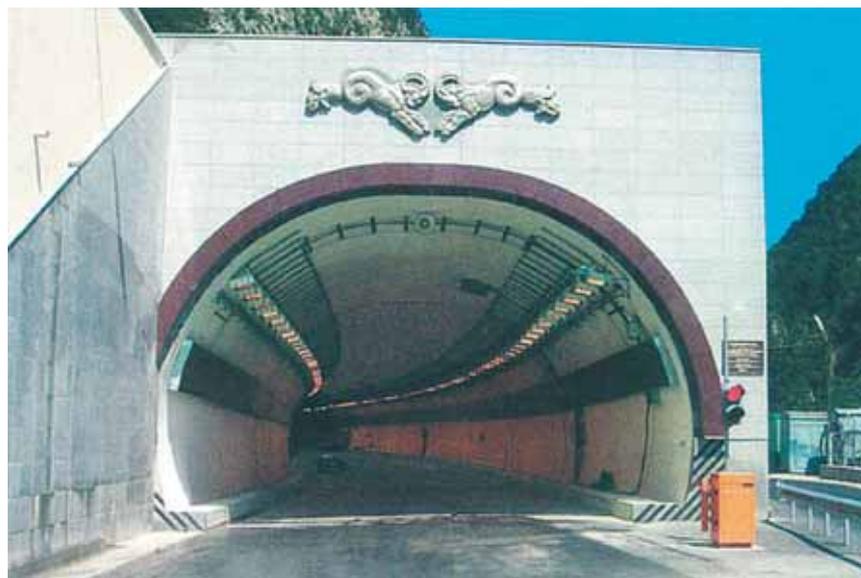
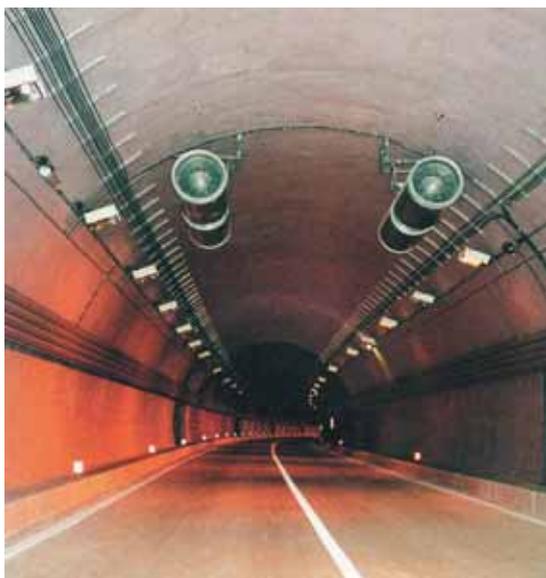


Рис. 6. Мацестинский тоннель

Рис. 7. Портал Краснополянского тоннеля

кан – Междуреченск в 2001 г. сданы в эксплуатацию Нанчхульский железнодорожный тоннель длиной 2,4 км, а на Дальнем Востоке – Кипарисовский тоннель длиной 1,6 км. В 2004 г. завершилось строительство двухпутного Тармачуканского железнодорожного тоннеля длиной более 2 км.

В сложных условиях без прекращения движения поездов ведутся работы по ремонту и переустройству тоннелей, построенных в начале XX в. Цель этих работ – расширение габарита приближения строений и замена обделки, представляющей опасность в процессе эксплуатации. Такие работы выполнены на Рачинском тоннеле Дальневосточной железной дороги (рис. 5) и на трех

петлевых тоннелях Северо-Кавказской железной дороги общей длиной почти 2 км на участке Армавир – Туапсе. По объектам РАО ЖД активно ведут работы организации Бамтоннельстрой.

Большое строительство тоннелей осуществляется в настоящее время в районе г. Сочи, где прокладывается обходная магистраль вокруг города и скоростная дорога в Туристический центр «Красная Поляна».

С применением новых конструкций обделки построены Мацестинский (рис. 6) и Краснополянский (рис. 7) автодорожные тоннели длиной более 2 км каждый, реконструирован тоннель через мыс Видный у г. Хоста. Впервые здесь нашли применение

новые системы гидроизоляции обделки и отвода воды с применением геотекстиля и пленочных материалов. Это позволило повысить качество конструкций обделки и ликвидировать течи.

Транспортная инфраструктура Москвы обогатилась рядом больших автодорожных тоннелей, проложенных в местах пересечения наиболее крупных магистралей города и предназначенных для разделения транспортных потоков по разным уровням. Это повысило скорости, увеличило пропускную способность перекрестков, обеспечило безопасность движения.

К числу таких объектов, построенных Корпорацией «Трансстрой» в последние го-

Рис. 8. Тоннели Кутузовской транспортной развязки

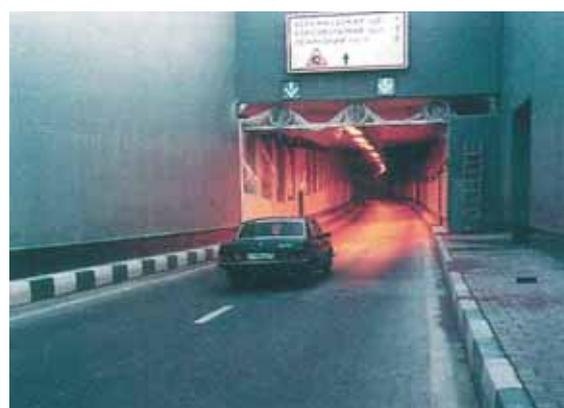




Рис. 9. Лефортовские тоннели



Рис. 10. Автодорожный тоннель под каналом им. Москвы

ды на Третьем транспортном кольце Москвы, относятся:

- Кутузовская транспортная развязка, в районе Кутузовского проспекта и Киевской улицы (рис. 8). Она представляет собой оригинальную инженерную систему, состоящую из шести тоннелей общей длиной 3045 м;
- большая развязка под пл. Гагарина – автодорожный 8-полосный тоннель длиной 800 м

с выездами на магистрали города. Кроме автодорожного тоннеля, в общий комплекс этого сооружения входят: железнодорожный тоннель длиной 920 м с пересадочным узлом на станцию метро «Ленинский проспект» и двухъярусные подземные автостоянки на 640 автомобилей.

Крупнейшими подземными сооружениями на Третьем кольце, оптимально решая

ющими транспортные, экологические и архитектурно-исторические проблемы, являются тоннели, построенные в районе Лефортово, предназначенные для пропуска в каждом направлении до 4000 авт/ч при расчетной скорости движения транспорта в тоннеле 60 км/ч. Лефортовские тоннели имеют общую протяженность почти 7 км и включают тоннель глубокого заложения круглого очертания диаметром почти 14 м и длиной 3244 м и тоннели мелкого заложения по трассе тоннельно-эстакадного обхода общей протяженностью 2290 м (рис. 9).

Одновременно со строительством тоннелей на Третьем транспортном кольце ведется строительство таких сооружений на хордовых магистралях. Так, на Волоколамском шоссе под каналом им. Москвы построен автодорожный тоннель протяженностью 409 м на пять полос движения автомобилей, в том числе одна полоса предназначена для движения троллейбуса (рис. 10); 160 м этого тоннеля расположены непосредственно под каналом.

Разрабатываются проекты и осуществляется строительство транспортных систем для быстрого железнодорожного сообщения между центром города и аэропортами. Ранее такая дорога была построена от Курского вокзала в аэропорт Домодедово, в 2005 г. введен в эксплуатацию участок железной доро-

Рис. 11. Станционный комплекс «Аэропорт Внуково» (наземный вестибюль; эскалаторный спуск и лифт на платформу станции)





Рис. 12. Серебряноборский транспортный тоннель (слева – автодорожный, верхний ярус; справа – метротоннель, нижний ярус)

ги с тоннелем и станционным комплексом «Аэропорт Внуково» (рис. 11).

Другое большое строительство тоннелей осуществляется под природно-охранном комплексе «Серебряноборское лесничество», на Звенигородском проспекте, соединяющим центр Москвы с автомагистралью Москва – Рига (Балтия). Будет построено три тоннеля: два транспортных диаметром в свету 12,35 м и тоннель обслуживания (сервисный) диаметром 6 м между транспортными тоннелями (рис. 12). Особенностью транспортных тоннелей является то, что в них предусмотрено двухъярусное движение транспорта: в верхнем ярусе – трехполосное одностороннее движение автомобилей в каждом направлении; в нижнем ярусе – движение метрополитена. Эти работы выполняет большой концерн организаций во главе с ОАО «Мосметрострой».

Наряду со строительством транспортных подземных систем большие объемы работ осуществляются в различных городах России по строительству тоннелей различного коммунального назначения – канализационных коллекторов, тоннелей для прокладки инженерных коммуникаций, гидротехнических тоннелей.

В 2000 г. закончено строительство первого из двух деривационных тоннелей протяженностью 5,2 км на Ирганайской ГЭС в Дагестане (рис. 13). Ведутся работы по строительству подводного тоннеля длиной 14 км на Заремагской ГЭС в Северной Осетии. В Башкирии построен Юмагузинский гидроузел с подходным тоннелем (рис. 14), а на

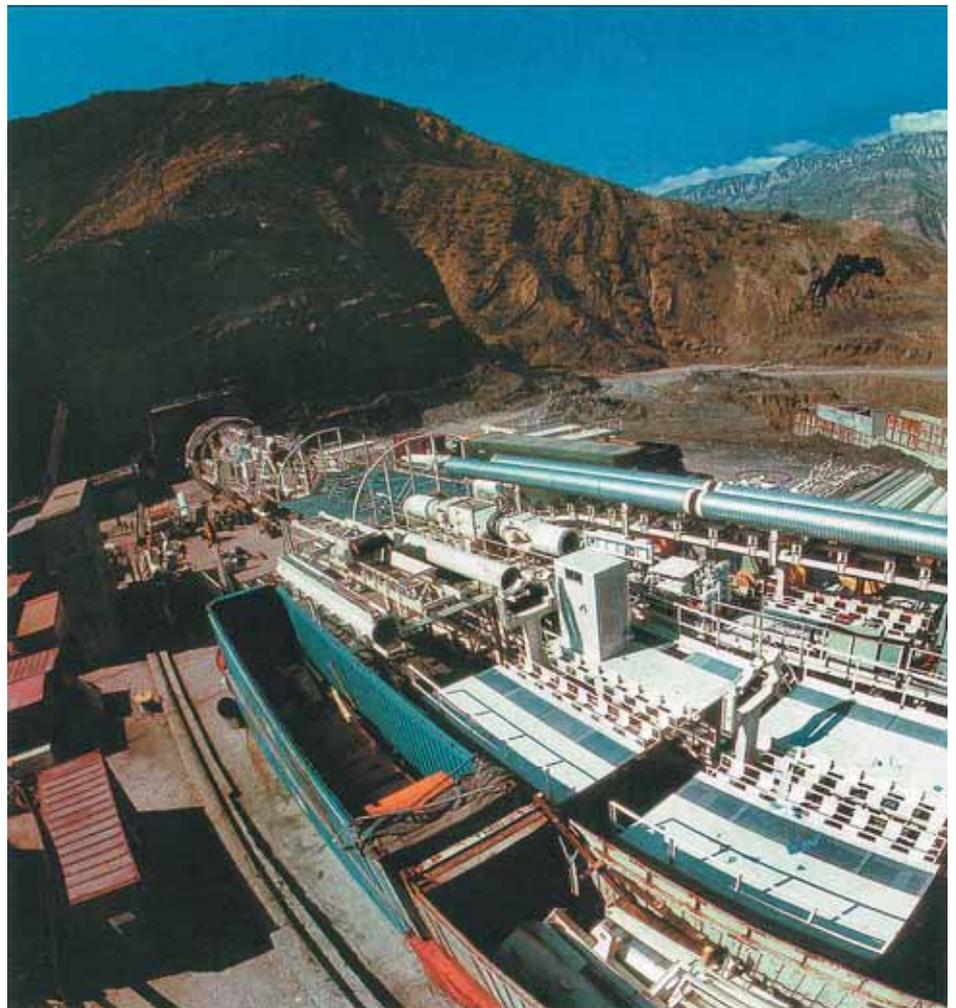


Рис. 13. Строительство на Ирганайской ГЭС деривационного тоннеля № 1

Рис. 14. Тоннель донного водовыпуска Юмагузинского гидроузла. Возведение постоянной обделки с металлооблицовкой

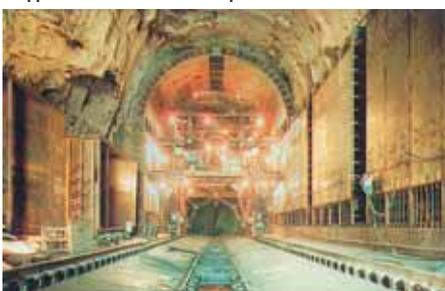
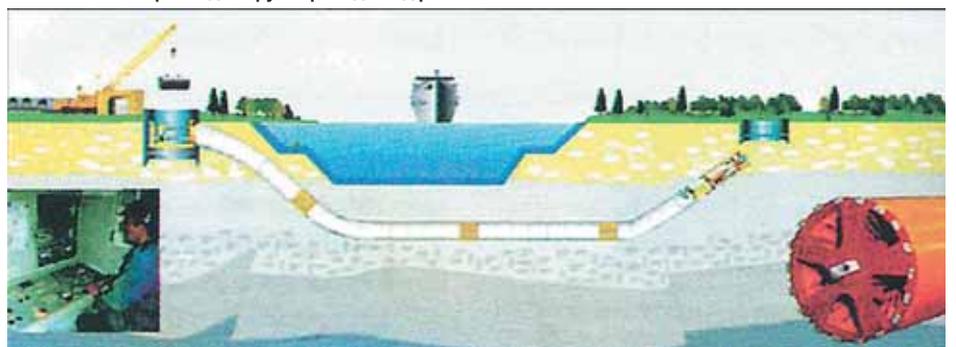


Рис. 15. Схема прокладки трубопровода под р. Невой



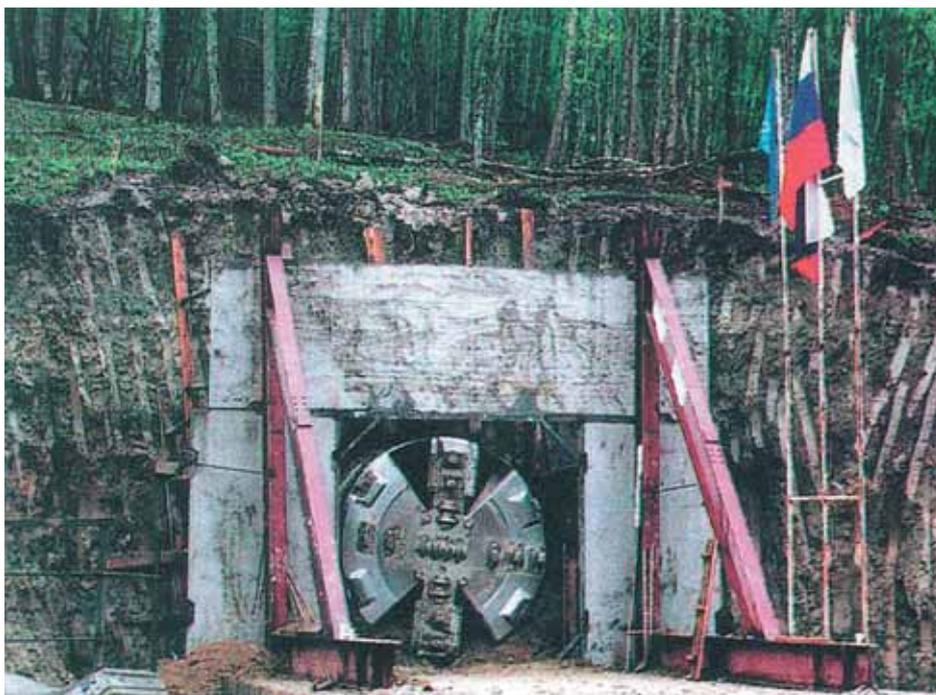


Рис. 16. Завершение проходки тоннеля для газопровода «Голубой поток» тоннелепроходческим комплексом RMP 105SE фирмы «Lovat»

Саяно-Шушенской гидроэлектростанции начались работы по сооружению двух деривационных гидротехнических тоннелей.

В Санкт-Петербурге впервые в России для прокладки нефтепровода завершено уникальное строительство подводного тоннеля под р. Невой длиной 770 м и наружным диаметром 2,6 м с применением микротоннелепроходческого комплекса с промежуточными домкратными станциями и специальными железобетонными трубами (рис. 15).

В Краснодарском крае Омское предприятие «Мостовик» с применением микротоннелепроходческого комплекса фирмы «Ловат» построило тоннель наружным диамет-

ром 2,4 м, длиной 2,1 км для прокладки газопровода «Голубой поток» (рис. 16).

В Москве организации Мосинжстроя завершили строительство ряда коммунальных коллекторов и подземных тоннельных переходов под улицами. Закончена проходка большого коммунального коллектора с монолитно-прессованной обделкой под улицей Большая Дмитровка, ведется строительство ряда больших коллекторов теплофикации, кабелей и газопроводов.

В 90-х годах построен крупнейший в Европе рекреационный комплекс «Охотный Ряд», возведение которого положило начало новому направлению в подземном строительстве крупных городов. Это сооруже-

ние больших подземных комплексов для размещения городской инфраструктуры под городскими площадями и высотными зданиями (рис. 17).

В настоящее время в Москве закончено проектирование и начинается строительство транспортной развязки на площади у Тверской Заставы с многоярусным гаражом и торговым комплексом. Общая площадь застройки составляет более 35 тыс. м². Аналогичное строительство намечается под площадью у Павелецкого вокзала. Практически под каждым высотным зданием возводятся помещения для размещения подземных гаражей и технологических устройств для обслуживания здания. Эти помещения представляют большие подземные сооружения глубиной 10–18 м, площадью 150–200 м² и требуют для их сооружений применения специальных технологий.

Накопленный опыт и особенности современного строительства

Возведение этих сооружений осуществлялось, в основном, с использованием достигнутого ранее передового производственного опыта и научно-технического потенциала прежних лет. Они накоплены при строительстве метрополитенов, тоннелей Байкало-Амурской магистрали, гидротехническом строительстве, прокладке коммунальных тоннелей для канализации, водоснабжения и размещения инженерных коммуникаций. Достаточно сказать, что с 1954 до 1991 г. было построено более 500 км линий метрополитенов в 13 городах страны и оказывалась техническая помощь в строительстве метрополитенов в Чехословакии, Болгарии, Польше, Индии.

В последнее время каждый год по стране возводилось 18–20 км новых линий. Байкало-Амурская магистраль стала шко-

Рис. 17. Рекреационный комплекс «Охотный Ряд»



лой строительства горных транспортных тоннелей. В исключительно сложных гидрогеологических, климатических и сейсмических условиях построено 11 железнодорожных тоннелей разной протяженности, общей длиной проложенных выработок почти 70 км.

Большие объемы работ выполнены в гидротехническом строительстве. В результате отечественных разработок построено четыре подземные гидроэлектростанции и 400 км гидротехнических и деривационных тоннелей.

В то же время новые экономические условия, наряду с использованием ранее достигнутого уровня строительства, требуют применения прогрессивных технологий и конструкций, обеспечивающих более высокое качество возводимого объекта, обеспечения надежной и безопасной эксплуатации, требований промышленной безопасности и сохранности окружающей среды. Это вносит в процесс создания подземного сооружения ряд особенностей и новых положений.

Общей тенденцией в современном тоннелестроении является усложнение работ по проходке выработок и возведению обделок. С увеличением протяженности горных тоннелей приходится преодолевать участки разломов с различными геологическими и гидрогеологическими условиями, часто встречаться с минерализованными подземными водами, грунтами и большими водопритоками. В городах строительство тоннелей и подземных сооружений осложнено обводненностью территорий, наличием большого количества инженерных коммуникаций, близостью ранее возведенных зданий и сооружений, требующих усиления при производстве тоннельных работ.

При строительстве больших объемных сооружений (подземных камер, залов, комплексов, гаражей) размерами по высоте 15–20 м и ширине более 50–80 м также приходится пересекать различные по своим характеристикам и обводненности грунты, требующие корректировки конструкторских решений и технологии работ в ходе постройки этих объектов.

В этих условиях на первое место выходят следующие важные положения, которые должны стать неперенным условием при строительстве тоннелей и других подземных сооружений:

- качественная оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий строительства до начала работ и их уточнение в процессе проходки с целью получения информации, которую не могут дать традиционные методы. Это позволяет выявить участки, которые по своим природным условиям крайне неблагоприятны для строительства, и вывести тоннели за их пределы;
- проведение постоянного геомониторинга при проходке тоннеля для уточнения гео-

логических условий впереди забоя и корректировки в случае необходимости технологии проходческих работ на основе опережающего бурения и бесскважинного контроля путем применения различных геофизических методов;

- осуществление в процессе горнопроходческих и строительных работ постоянного геодезическо-маркшейдерского мониторинга для обеспечения строгого соблюдения внутреннего очертания тоннельной обделки, расположения тоннеля в плане и профиле и наблюдения за состоянием поверхности и находящихся вблизи выполняемых работ наземных зданий и различных сооружений.

Проводимые в настоящее время конкурсы для возможности получения контракта на строительство объекта требуют от его участников представления таких предложений, которые по сравнению с конкурирующими организациями позволяют возводить сооружения более быстрыми темпами и с качеством выполняемых работ нового уровня. При этом одновременно рассматриваются как приоритетные экономические показатели предлагаемого проекта.

Высокие технологии категории Hi-Tech в тоннелестроении

В настоящее время в технике, в том числе и строительстве, широко используется термин «высокие технологии». Это следует понимать как совокупность новых знаний о приемах, способах и производственных процессах, их создание и внедрение, обеспечивающие прорыв в технологии подземных работ и более полное использование свойств массива горных пород с целью повышения его устойчивости, устойчивости тоннелей и предотвращения просадок поверхности земли.

Высокими технологиями называют, прежде всего, технологии, основанные на принципах, резко отличающихся от ранее известных и приводящие к новым результатам, исключающие вредные явления и увеличивающие эффект от их применения. Новые технологии экономичны, обеспечивают высокие значения производительности труда, темпов строительства и эксплуатационных показателей построенных тоннелей. Такие технологии требуют переквалификации работников и применения оборудования нового технического уровня.

Таким образом, высокие технологии Hi-Tech позволяют:

- осуществлять строительство с применением высокопроизводительных машин и оборудования без применения ручного труда в автоматическом или полуавтоматическом режиме управления производственными операциями;
- применять конструкции и материалы, обладающие принципиально новыми техническими характеристиками и отвечающие мировым стандартам;

- исключить или свести к минимуму отрицательное воздействие на окружающую среду;
- управлять строительным процессом с применением компьютерных программ и приборов контроля на всех этапах строительства.

В последнее время в тоннельном строительстве появился целый ряд таких новых технологий, позволяющих осуществлять возведение подземных сооружений высокими темпами и с высоким качеством.

Это, прежде всего, проходка тоннелей механизированными тоннелепроходческими комплексами с активным пригрузом забоя в виде бентонитовой суспензии, грунтового (шламового) пригруза или сжатого воздуха (кессонированные щиты). Такие технологии позволяют вести проходку тоннелей новыми методами, полностью механизировать процессы разработки грунта, его транспортировки и возведения конструкций с минимальным участием людей, оставляя за ними компьютерное управление отдельными операциями.

Неотъемлемой частью проходки тоннелей по этой технологии в водонасыщенных неустойчивых грунтах является применение сборных водонепроницаемых железобетонных обделок из высокоточных блоков, изготавливаемых на заводе в металлических формах, точность отклонений которых от проектных размеров сопоставима с чугунными или стальными элементами в пределах 0,2–0,5 мм. Особенности конструкций подобных обделок являются блоки с упругими эластомерными уплотнительными прокладками в кольцевых и продольных стыках, выполненные из долговечной упругой резины специального профиля. Это практически исключает трудоемкую и небезопасную работу по зачеканке стыков обделки.

Модернизация метода NATM, предусматривающего устройство податливого свода породного массива, работающего как временная крепь, позволила при проходке тоннелей горным способом в скальных породах использовать буровые установки с компьютерным управлением по заданной программе, комплексно обуривающих забой. Стала более широко применяться трехслойная обделка тоннелей из монолитного бетона с геотекстильными слоями для отвода воды. Свод породного массива, работающий как временная крепь, позволяет раскрывать сечение тоннеля на полный профиль с установкой временной крепи, не загромождающей сечение, с последующим возведением постоянной обделки на широком фронте. Возведение обделок осуществляется опалубочными комплексами с механизированной укладкой бетонной смеси и изоляцией новых типов.

Бестраншейная прокладка трубопроводов с применением микротоннелепроходческих комплексов – новая эффективная технология при строительстве трубопроводов, коллекторов и других коммуника-

ционных инженерных сооружений в городах под улицами, при пересечении водных преград, автомобильных и железных дорог. Ее применение позволяет осуществлять без вскрытия поверхности проведение выработки и прокладку в ней трубопроводов различного назначения наружными диаметрами от 340 до 2040 мм участками между шахтами (колодцами), расположенными на расстоянии до 100–120 м друг от друга.

Важнейшим элементом этой технологии является применение железобетонных труб с новым типом стыков, имеющих кольцевые манжеты, снабженные каучуковым эластомером, обжимаемым в процессе продавливания трубы микрошитом. Это создает высокую герметичность стыков и соответственно повышает качество и долговечность трубопровода в целом по сравнению с укладкой труб в траншеи, исключает аварии при его эксплуатации.

Применение защитных экранов, как средства для преодоления различных препятствий и участков со сложными гидрогеологическими условиями при строительстве тоннелей, также является новой технологией. Эта технология основана на принципе опережающего крепления, когда до начала проходки по контуру будущего тоннеля создают крепь-экран, под прикрытием которого осуществляется раскрытие тоннельной выработки, ведется разработка грунта и возводится обделка тоннеля.

При открытом способе тоннельных работ используются следующие технологии, исключают подвижки и деформации расположенных вблизи зданий, коммуникаций и построенных ранее подземных сооружений:

- полузакрытый способ производства работ, при котором на предварительно возведенных методом «стена в грунте» стенах устраивается перекрытие, под которым ведутся все последующие работы по строительству тоннеля или подземного сооружения (гаража и т. п.);
- применение взамен свайного или балочного крепления котлована передвижной крепи для стен котлованов, перемещающейся путем отталкивания от собранной ранее обделки или от стен выработки, и ряд других специальных способов.

Резко увеличившееся количество автомобилей и других средств транспорта на дорогах и, соответственно, в тоннелях, повышенные скорости и растущая частота движения подвижного состава на железных дорогах и в метрополитенах потребовали разработки и создания устройств и систем, обеспечивающих высокий уровень безопасности в процессе эксплуатации объектов и быстрой эвакуации людей в случае чрезвычайных обстоятельств. Решение этих вопросов наряду с применением новых технологий для строительства выходит на первый план.

К числу таких инженерных устройств относятся: тоннели обслуживания, соору-

жаемые параллельно основному тоннелю, работающие с поддувом воздуха; стволы для вентиляции и эвакуации людей с выработками к тоннелю; использование для эвакуации людей нижних помещений автодорожных тоннелей и подземных центров.

Важнейшими системами жизнеобеспечения эксплуатируемого тоннеля являются: дублированное электроснабжение; вентиляция для проветривания, поддува и дымоудаления; системы сигнализации, связи и телевидения для контроля за движением транспортных средств и за состоянием самого тоннеля.

Управление всеми этими системами должно осуществляться с централизованных диспетчерских пультов и постоянно контролироваться.

Все эти эксплуатационные устройства и системы должны быть разработаны в проекте и утверждены до начала строительства объекта с таким расчетом, чтобы сразу после окончания строительства обеспечить надежную и безопасную эксплуатацию сооружения, построенного на новом уровне.

Приоритетная задача - создание отечественных машин и технологий для подземного строительства

Российские организации широко применяют современное оборудование и новые технологии. Однако, к сожалению, в нашей стране применение новых технологий в подземном строительстве основано на использовании зарубежного оборудования и машин.

Тенденции изготовления нового высокопроизводительного оборудования для подземных работ на отечественных машиностроительных заводах наметились к концу 80-х годов, но были прекращены в связи с изменением экономической системы в стране и нахождением таких заводов и в других странах, как, например, Ясиноватского завода на Украине.

В то же время ряд предприятий России начал заниматься созданием нового оборудования и применением его при строительстве тоннелей и подземных сооружений. К их числу следует отнести ООО «Компания Крот» и «Альянс К», которые изготовили ряд тоннелепроходческих механизированных комплексов и с их использованием успешно строят тоннели, применяя новые типы обделок.

Научно-исследовательский институт «ЦНИИПодземмаш» высказал большую озабоченность тем, что в России практически прекратилось изготовление добычных и строительных комбайнов, которые ранее выпускались на заводах Украины. В настоящее время институт разработал проекты машин-комбайнов нового поколения и совместно с заводом «Анжермаш» начинает их изготовление. Кроме этого, институт разработал проекты тоннеле-

проходческих комплексов для проходки тоннелей метрополитенов.

Скуратовский машиностроительный завод – один из первых заводов, который начал осваивать изготовление машин для микротоннелирования и выпустил более 15 единиц такого оборудования. Одновременно он занимается изготовлением нестандартного оборудования для строительства тоннелей. Этим заводом изготовлен комплекс оборудования для устройства платформы проезжей части Серебряноборских тоннелей, включая подплатформенные конструкции, где будут ходить поезда метрополитена. Для Лефортовского тоннеля такой комплекс поставлялся из Германии фирмой «Херренкнехт».

Следует также отметить инициативу ООО «Трансстройтоннель-99» и Тоннельной ассоциации России по созданию проходческих комплексов, включающих новые, более простые и экономичные герметичные щитовые машины с многоосным роторным рабочим органом по типу щитовых машин системы DEPLEX, изготавливаемых в Японии. Одной из важных особенностей этих машин является то, что они могут использоваться для широкого круга геологических условий и поперечных сечений выработок. Герметизация забоя при проходке такими щитовыми машинами позволяет применять их в водоносных неустойчивых грунтах на небольшой глубине от поверхности, что очень важно при строительстве городских коллекторов для прокладки инженерных коммуникаций.

Приведенные примеры показывают, что российская промышленность может выпускать проходческие машины, а строительные организации – их использовать. Однако их создание в больших объемах требует определенных затрат для разработки и изготовления самой машины, а затем отработки технологического процесса строительства, включая применение новых конструкций.

По мнению Тоннельной ассоциации России, это можно решать двумя путями.

Во-первых, отражение этих затрат в сметах на строительство объекта с обязательным условием при проведении тендера, что организация, его выигравшая, обеспечивает применение нового оборудования, конструкций и технологий отечественного производства.

Во-вторых, при инвестировании проекта сооружения инвестор должен быть готов финансировать работы по созданию новой техники и технологии. В дальнейшем инвестор, как хозяин проекта машин и технологии, мог бы продавать «ноу-хау» или использовать его в своих экономических целях.

Могут быть и другие схемы. Задача Тоннельной ассоциации России – всемерно способствовать разным формами и методами созданию отечественных машин и технологий для подземного строительства.

