

Журнал

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

**Председатель
редакционной коллегии**

К. Н. Матвеев, председатель
правления ТАР

**Зам. председателя
редакционной коллегии**

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

Ответственный секретарь

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

Редакционная коллегия

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук

В. В. Внутских

С. А. Жуков

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

Ю. Н. Малышев, академик РАН

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

А. Ю. Старков

Б. И. Федунец, доктор техн. наук

Т. В. Шепитько, доктор техн. наук

Ш. К. Эфендиев

Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172

факс: (495) 607-3276

www.rus-tar.ru

e-mail: info@rus-tar.ru

**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



Мосметрострой



№ 2 2022

В Тоннельной ассоциации России

Итоги научно-технической конференции «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве 2022» 2

Награждение победителей профессиональных конкурсов Тоннельной ассоциации России за 2021 год 10

Проектирование

Пересадочный узел между станциями «Путиловская» и «Кировский завод» метрополитена Санкт-Петербурга 12

А. Б. Лебедев, И. Я. Дорман, С. В. Мазеин

Двухсводчатая станция метрополитена – передовые технологии. Конструкторская мысль, экономическое обоснование 20

Н. Г. Давтян

Железнодорожные тоннели

Железнодорожный тоннель на 106–107 км участка Артышта – Томусинская Западно-Сибирской железной дороги 23

В. Г. Лозин, В. И. Карасев

Гидроизоляция

Применение отечественной напыляемой гидроизоляции на объектах транспортной инфраструктуры 26

А. К. Нефедьева, А. П. Нефедьев,

М. И. Баженов, А. В. Сенчев

Безопасность метрополитена

Определение количества людей на станциях метрополитена методом моделирования пассажиропотоков 28

А. И. Данилов, В. П. Чижилов

Инженерные изыскания

Электроразведочная методика А. И. Баданина для инженерно-геологических изысканий 31

К. В. Романевич, А. Д. Басов, К. А. Дорохин,

О. В. Бойко, С. В. Андрианов, Е. В. Костромитина

Вопросы высшего образования

Проблемы подготовки инженеров в области подземного строительства в России 35

С. А. Бахтин, Г. Н. Полянкин, К. В. Королев

Зарубежный опыт

Подземное строительство в крупных городах Вьетнама 38

Л. В. Маковский, В. В. Кравченко,

Май Ван Лок, Нгуен Нгок Хан

Уникальный проект

Транспортное пересечение через реку Лену в Якутске 41

Э. Б. Рубинчик

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Железнодорожный тоннель на 106–107 км участка Артышта – Томусинская Западно-Сибирской железной дороги (с. 23)

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

25 мая 2022 г. в Центральном Доме архитектора (ЦДА) прошла научно-техническая конференция «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве 2022», организованная Тоннельной ассоциацией России (ТАР) при участии АО «Мосметрострой» и ООО «Синерго». В ней приняли участие 110 специалистов из 50 проектных, строительных и эксплуатационных организаций, вузов, а также компаний-производителей специализированного оборудования и материалов России и ближнего зарубежья.

С приветственным словом к участникам конференции обратился председатель правления ТАР К. Н. Матвеев, отметивший, что продолжается добрая традиция встреч специалистов в очной форме для обмена опытом, способствующим совершенствованию технологии строительства подземных сооружений в нашей стране. Затем Константин Николаевич вручил Свидетельства о том, что новыми отделениями Тоннельной ассоциации России отныне являются следующие организации: Филиал ООО «РСРС ГмбХ Рэйлвэй Инфрастратчер Проджектс», АО «ГеоСпецСтрой», АО «Метрострой Северной столицы», кафедра техники и технологии горного и нефтегазового производства Московского политехнического университета.

На конференции заслушали 27 докладов специалистов более чем из 20 организаций по пяти блокам. Модератором конференции был д. т. н., профессор И. Я. Дорман.

Первый блок докладов посвящался применению новейших технологий, материалов и конструкций при подземном строительстве. Он открылся сообщением А. В. Арутюняна (УП «Минскметрострой») «Сооружение пересадочного узла между третьей и первой линиями Минского метрополитена» под железнодорожными путями станции Минск-Пассажирский и административным зданием БГУ с применением щитовой проходки и горного способа с

консолидацией грунтов под действующей станцией «Площадь Ленина» без снятия пассажирского движения.

Его коллега из УП «Минскметрострой» А. В. Устинович доложил об опыте применения сборных железобетонных изделий в Минске для устройства обделки тоннелей и верхнего строения пути метрополитена, а также наружной канализации.

А. В. Ружицкая (ООО «Холсим (РУС) СМ») рассказала о применяемых предприятием методах осушения и обеззараживания грунтов от тоннелепроходки комплексными минеральными вяжущими на основе портландцементного клинкера, содержащего минеральные компоненты различной природы (пуццолановые и/или гидравлически активные) и их вторичном использовании.

А. А. Слабодкин (ООО «Гидропротект») сообщил о применении при строительстве подземных сооружений методов инъекционной гидроизоляции с использованием полиуретановых смол, метакрилатных гелей, полиуретановых гелей, силикатных смол, эпоксидных смол и минеральных составов для решения различных задач, в том числе:

- остановка напорной течи через конструкцию и устройство долговременной гидроизоляции за одну технологическую операцию;
- ремонт гидроизоляции даже при активном водопроитоке деформационных швов;



Председатель правления ТАР К. Н. Матвеев



И. Я. Дорман, д. т. н., профессор

А. В. Арутюнян, УП «Минскметрострой»



А. В. Ружицкая, ООО «Холсим (РУС) СМ»





А. А. Слабодкин, ООО «Гидропротект»



А. В. Алексеев, ООО «Синерго»

- одновременное производство отсечной гидроизоляции, высушивание и укрепление кирпичной и бутовой кладки;

- выполнение наружной гидроизоляции внутри помещения на контакте грунт-конструкция без откопки и др.

Также им была представлена представленная мембрана с возможностью адгезионного соединения со свежееуложенным бетоном. Она представляет собой двухслойную рулонную прозрачную мембрану на основе модифицированного ПВХ и нетканого материала, изготовленного по технологии FiderTex, прочно соединенного с мембраной методом экструзии. Специально разработанные волокна нетканого материала обеспечивают высокую адгезию мембраны со свежееуложенным бетоном возводимого сооружения.

Тему защиты сооружений от подземных вод продолжил А. В. Алексеев (ООО «Синерго») с докладом «Применение инъекционных технологий при сооружении подземных конструкций». Им были приведены аргументы в пользу применения инъекционных технологий по сравнению со струйной цементацией грунтов, в частности: управление технологией, необходимость поддержания режима инъекционной пропитки без повышения давления и соответствующих деформаций окружающих сооружений, даны варианты моделирования струйной цементации с учетом изгиба и эффекта неуправляемого компенсационного нагнетания.

Завершил этот блок докладов А. Г. Глущенко (ООО «РусИнжект»), рассказавший об импортозамещении сырья и готовой продукции для ремонта гидроизоляции подземных сооружений. Был продемонстрирован обзор текущего положения по поставкам сырья, описан опыт ремонта поврежденных железобетонных конструкций в сжатые сроки.

Второй блок докладов «Информационное моделирование процессов проектирования, строительства и эксплуатации новых линий метрополитена» на конференции открылся выступлением К. М. Попова (АО «Моспромпроект») с темой «Справочно-методическое пособие по информационному моделированию подземных сооружений как результат многоэтапной исследовательской работы», разработанного в рамках научно-исследовательской работы, выполненной ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», АО «Моспромпроект», АО «Моспромпроект-3», ЧУ Госкорпорации «Росатом» «ОЦКС», АО «НИЦ «Строительство», Горным институтом НИТУ «МИСиС». Пособие состоит из пяти разделов. В разделе 1 приведена методика автоматизации сборки сводной (федеративной) информационной модели, в т. ч. с учетом ограничений информации, которая относится к категории ограниченного использования. Раздел 2 содержит правила поиска

недопустимых пересечений (коллизий) в сводной информационной модели с учетом междисциплинарных пересечений, пересечений в одной дисциплине, а также пересечений с существующей инженерной инфраструктурой. В 3-м разделе приведены рекомендации для организации структуры атрибутивной информации и её связи с отраслевыми классификаторами, а также предложения по дополнению отраслевых классификаторов. В разделе 4 выполнена оценка потенциальной эффективности от применения предлагаемых методов создания информационной модели для подземных сооружений транспортного назначения на территории Москвы. И в разделе 5 приведены рекомендации по организации сопровождения и согласования заказчиком технических решений при реализации инвестиционно-строительных проектов подземных сооружений транспортного назначения с использованием информационного моделирования.

Развил тему ряд докладов о практическом применении технологии информационного моделирования в транспортном строительстве В. Е. Еременко (Филиал ООО «РСРС ГМБХ»; Горный институт НИТУ «МИСиС») на примере геотехнической оценки состояния горного массива и построения его блочной модели по трассе подземных сооружений Северомуйского тоннеля на ста-

ции с учетом изгиба и эффекта неуправляемого компенсационного нагнетания.

А. Г. Глущенко, ООО «РусИнжект»

К. М. Попов, АО «Моспромпроект»





В. Е. Еременко, Филиал ООО «РСРС ГМБХ»; Горный институт НИТУ «МИСиС»



М. В. Шиков, ФГБОУ ВО СГУПС

дии проведения изыскательских работ. Работы включали:

- оценку трещиноватости массива горных пород на основе геологических данных полученных при бурении скважин и структурного геологического и геотехнического документирования кернов;
- определение качественных и количественных показателей и характеристик породного массива (Q-индекс, рейтинг RMR, индекс GSI);
- оценку состояния массива горных пород от внутренней границы обделки на глубину до 1,0–1,5 м и более и выявление зон навешенной трещиноватости, образованной при проходке тоннеля;
- ориентацию естественных трещин в пространстве на основе оптической съемки трещин, а также геотехнической оценки кернов;
- определение системности трещин по литологическим разностям массива и их ориентация;
- построение каркаса модели тоннеля и выработку участков инженерно-геологических элементов ИГЭ и сложных систем выработок;

Д. И. Мицко, Горный институт НИТУ «МИСиС»



- определение в численной модели величин избыточных напряжений, деформаций и категорий запаса устойчивости массива и целиков при проходке и поддержании тоннеля и выработок, выявление местоположения и размеров этих зон;
- разработку рекомендаций по креплению тоннеля и выработку различного назначения на основе расчета нагрузок на крепь потенциальных призм обрушения.

В докладе О. С. Федянина (Филиал ООО «РСРС ГМБХ») «Сводная BIM-модель инженерных изысканий Северомуйского тоннеля» было рассказано, как на основании этих данных строилась сводная BIM-модель инженерных изысканий тоннеля.

М. В. Шиков и Г. Н. Полянкин (ФГБОУ ВО СГУПС) поделились опытом применения ТИМ в дипломном проектировании по специализации «Тоннели и метрополитены». Выпускная квалификационная работа на тему «Цифровое моделирование (в 3D) станционного комплекса метрополитена для условий г. Красноярск» разработана четырьмя студентами СГУПС. Каждый из них моделировал отдельный участок станционного

комплекса метрополитена в 3D постановке: «транспортный тоннель, камера съездов», «платформенный участок станции, сопряжения с другими объектами», «входы-выходы, сопряжения станции, инженерное оборудование» и «эскалаторный тоннель, участки сопряжения».

В последнем докладе этого блока Д. И. Мицко (Горный институт НИТУ «МИСиС») «Государственные требования к информационной модели ТИМ 2022», основанном на материалах и выводах, подготовленных Цифровой академией ДОМ РФ в курсе «Технологии информационного моделирования», были рассмотрены основные законодательные акты, регламентирующие применение информационных технологий в строительстве. Отмечено, что формирование и ведение информационного моделирования на этапе эксплуатации запускается только при реконструкции и для новых объектов. А такие объекты, согласно стратегии по переходу госзаказа на применение ТИМ, появятся не ранее чем в 2024 г.

Докладчик проинформировал, что принято решение о формировании Единой системы информационного моделирования (ЕСИМ). Разработчиком основополагающих стандартов ЕСИМ является Отраслевой центр капитального строительства «Росатом», основными задачами которого являются формирование планов разработки ГОСТов, производство технических рассмотрений проектов ГОСТов и их утверждение. Целями разработки данных стандартов являются:

- формирование единых требований к информационному моделированию в различных отраслях и на разных этапах ЖЦ объектов различного назначения;
- формирование однозначной взаимосвязи с международными, межгосударственными и национальными стандартами.

В период до 2023 г. планируется подготовка и выпуск 60 ГОСТов обязательного применения. Также в рамках ЕСИМ предусмотрена адаптация и включение в структуру существующих ГОСТов и СП по ТИМ.

Третий блок сообщений «Научно-техническое сопровождение проектирования и

строительства подземных сооружений» на конференции открыл доклад В. Е. Русанова (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации») «Научно-техническое сопровождение строительства инфраструктурных объектов в технических и охранных зонах Московского метрополитена». Докладчиком приведен пример научно-технического сопровождения строительства ТПУ над действующей станцией метрополитена, включающий:

- анализ ситуации, проектной документации, исполнительной документации, подготовка научно-технического заключения о наиболее вероятных причинах осадков сооружений метрополитена, превышающих прогнозируемые в проекте;
- фиксацию текущего технического состояния сооружений метрополитена (обследование технического состояния сооружений метрополитена с проведением геофизического обследования контакта «грунт-обделка», контроль габаритов приближения);
- организацию проведения контрольных инженерно-геологических изысканий в зоне предполагаемого разуплотнения грунтового массива;
- измерение уровня вибраций при сооружении скважин БСС для изготовления армированных свай;
- выполнение геотехнических расчетов с учетом сложившейся фактической геотехнической ситуации, включая уточненные данные контрольных инженерно-геологических изысканий;
- разработку программы автоматизированного мониторинга сооружений метрополитена;
- монтаж системы автоматизированного мониторинга сооружений метрополитена с помощью системы датчиков гидростатического нивелирования (ДГН);
- анализ сходимости результатов «ручного» и автоматизированного мониторинга высотного положения сооружений метрополитена, обобщение и анализ результатов мониторинга и их сопоставление с результатами геотехнического прогноза;
- разработку технологического регламента на выправку путей метрополитена;

- разработку технологического регламента на выполнение ремонтных работ;
- выполнение контрольных исследований прочности бетона фундаментов эскалатора;
- оперативную разработку рекомендаций по корректировке режимов ведения работ по устройству БСС на основании данных мониторинга при выявлении отклонений от прогноза.

Результатами работы стали:

- подтверждение достаточной несущей способности конструкций метрополитена при сложившейся ситуации, прогноз ситуации на момент завершения СМР;
- согласование застройщику продолжения СМР при обеспечении оперативного контроля за деформациями конструкций станции (автоматизированный мониторинг);
- применение бентонитовой суспензии в качестве пригруза забоя скважин БСС (в дополнение к грунтовой пробке и обсадной трубе), что позволило исключить дальнейшую суффозию и разуплотнение грунтов (песков) под основанием станции. Это подтвердилось существенным снижением тенденции нарастания осадков конструкций станции;
- направление подрядчику заключения по наиболее вероятным причинам сверхпрогнозных осадков, что способствовало усилению контроля качества выполнения СМР;
- выполненные работы показали эффективность НТСС на объекте, позволили в целом решать производственные задачи оперативно в рабочем порядке.

А. А. Стародумов (Научно-исследовательский центр АО «Метрогипротранс») рассказал об оценке влияния строительства станционного комплекса «Сосновая поляна» Красносельско-Калининской линии Петербургского метрополитена на эксплуатацию канализационного коллектора, расположенного в зоне строительства. Расчеты дополнительных деформаций конструкций канализационного коллектора при новом строительстве выполнены с помощью лицензионных геотехнических комплексов: Plaxis 2D 2019 – для 2D расчетов и MIDAS GTS NX – для проведения трехмерных 3D расчетов. Это позволило в полном объеме выявить основные проблемы, связанные с влиянием

строительства станции «Сосновая поляна» на окружающую застройку, и убедительно обосновать безопасность строительства станции для конструкций эксплуатируемого канализационного коллектора, расположенного в зоне влияния строительства.

А. А. Пискунов (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)) рассказал о научно-техническом сопровождении строительства МФК над станцией «Чкаловская» Московского метрополитена. При проведении НТСС решались следующие задачи:

- участие в принятии решений по вопросам начала, окончания, приостановки (при необходимости) и завершения этапов выполняемых работ по сохранению планово-высотного положения здания;
- определение требований к составу и периодичности контрольных мероприятий при выполнении работ;
- участие в работах по определению технологий и состава выполняемых работ по мониторингу осадков строящегося объекта и существующего вестибюля станции ГУП «Московский метрополитен» «Чкаловская» требованиям, установленным проектной и рабочей документацией;
- ежедневный контроль соответствия результатов измерений мониторинга осадков строящегося объекта и существующего вестибюля станции «Чкаловская» требованиям, установленным проектной и рабочей документацией;
- участие в работе Научно-технического совета.

Н. С. Островский (АО «Мосинжпроект») доложил о создании и работе Центра управления проходкой (ЦУП), который направлен на решение следующих задач:

- круглосуточный онлайн-контроль за параметрами проходческих работ;
- связь с машинистом ТПМК для оперативного изменения параметров проходки во избежание просадок/вспучивания дневной поверхности;
- мониторинг за количеством нагнетаемого тампонажного раствора в заобделочное пространство с помощью ЦУП, а также за объемом выдаваемого грунта со шнекового транспортера;

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



А. А. Стародумов, Научно-исследовательский центр АО «Метрогипротранс»





А. А. Пискунов, ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)

- корректировка параметров проходческих работ: давление грунтопригрузки, давление нагнетания тампонажного раствора, усилие, скорость проходки и т. д.;
- контроль положения ТПМК относительно трассы тоннеля;
- оперативное реагирование в случае нештатной ситуации, а также в случае возникновения аварии;
- контроль соблюдения Технологического регламента на щитовую проходку.

- ЦУП позволяет оперативно среагировать на отклонения ведения проходки и в срочном порядке скорректировать действия машиниста и экипажа ТПМК, что дает возможность сократить возникновение внештатных и аварийных ситуаций на 90 % при строительстве тоннелей.

Д. С. Колюхов (АО «Мосинжпроект») рассказал о результатах исследований коэффициента технологического перебора грунта при механизированной проходке тоннелей. Работа была выполнена отделом научно-технического сопровождения строительства АО «Мосинжпроект» совместно с Горным институтом НИТУ «МИСИС» по заказу ФАУ ФЦС Минстроя РФ. В качестве основных причин перебора грунта при проходке тоннелей докладчиком были названы:

- несоответствие диаметра резания наружному диаметру отделки;

Д. С. Колюхов, АО «Мосинжпроект»



- перемещения грунтового массива перед забоем;
- человеческий фактор;
- неполное заполнение тампонажным раствором заобделочного пространства;
- отсутствие заполнения или неполное заполнение пространства за оболочкой щита глинистым или медленно твердеющим тампонажным раствором.

На первом этапе была проведена систематизация инженерно-геологических условий для целей математического моделирования. Все грунты по своим осреднённым физико-механическим характеристикам были разделены на четыре группы. Числовые значения характеристик грунтов принимались по результатам статистической обработки результатов геотехнических изысканий для 39 строительных площадок для объектов метрополитена в Москве. На этом же этапе были систематизированы результаты геотехнического мониторинга при проходке щитами 6 и 10 м.

На втором этапе работ выполнялись модельные исследования проходки тоннелей щитами с активным пригрузом забоя диаметром 6 и 10 м в различных горно-геологических условиях в плоской и пространственной постановках. В результате были получены зависимости осадок дневной поверхности от глубины заложения тоннеля, коэффициента перебора грунта и типа грунта при проходке щитами диаметром 6 и 10 м.



Н. С. Островский, АО «Мосинжпроект»

Следующим этапом было сопоставление результатов математического моделирования с натурными экспериментальными данными.

В результате выполнения НИР, на основании статистической обработки результатов модельных исследований с учётом данных геотехнического мониторинга на объектах метростроения Москвы, АО «Мосинжпроект» совместно с Горным институтом НИТУ «МИСИС» впервые в РФ получены величины коэффициента технологического перебора грунта в зависимости от типа инженерно-геологических условий и диаметра щита при проходке тоннелей метрополитена. Полученные величины соизмеримы с данными зарубежных исследований. Результаты НИР использованы при переработке СП 120.13330 «Метрополитены».

В. В. Полищук (ООО «Институт «Мосинжпроект») в докладе «Рублево-Архангельская линия метрополитена. Особенности проектирования линии с учётом инженерно-геологических, гидрогеологических, а также условий сложившейся городской застройки» отметил, что новая линия метро обеспечит транспортное обслуживание более 530 тыс. человек, проживающих и работающих в районах Митино, Строгино и Хорошёво-Мнёвники. Снизится нагрузка на центральный участок Арбатско-Покровской линии метро, а также уменьшится интенсив-

В. В. Полищук, ООО «Институт Мосинжпроект»





Р. А. Соловьев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



Д. А. Цюпа, АО «Моспромпроект»

ность движения транспорта по расположенной рядом улично-дорожной сети, что, в свою очередь, улучшит экологическую ситуацию в этих районах города. В докладе проведен анализ условий строительства Рублево-Архангельской ветки, а также обзор мероприятий для обеспечения безопасности производства работ.

Р. А. Соловьев (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») проанализировал распределение напряжений в обделках эскалаторных тоннелей и показал, что на напряжения в эскалаторном тоннеле влияют следующие факторы:

- вестибюли и другие здания на поверхности, которые вызывают дополнительные осадки и напряжения в кольцах;
- зона разуплотненных грунтов вокруг тоннеля, вызванная заморозкой и последующим оттаиванием;
- совместная работа колец тубинговой трубы. Это позволяет распределить усилия между несколькими кольцами, однако трещины захватывают несколько колец сразу;
- хрупкое разрушение чугуна меняет характер работы обделки на некоторых участках.

Также им были проанализированы методы усиления обделок из чугунных тубингов.

Последним сообщением этого блока был доклад Д. А. Цюпа (АО «Моспромпроект») «Инфраструктурный кредит как инновационный механизм развития транспортной структуры городских агломераций на при-

мере Нижнего Новгорода». Распоряжением Правительства Российской Федерации от 6 октября 2021 г. № 2816-р утвержден Перечень инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 г., в состав которого входит Инфраструктурное меню. Одним из инструментов Инфраструктурного меню являются Инфраструктурные бюджетные кредиты (ИБК). Перечень инфраструктурных проектов Нижегородской области был одобрен на заседании Президиума (штаба) Правительственной комиссии по региональному развитию в Российской Федерации под председательством Заместителя Председателя Правительства Российской Федерации М. Ш. Хуснуллина 2 декабря 2021 г. Первым инфраструктурным объектом по метрополитену, реализуемым при помощи ИБК, стало продление Автозаводской линии метро в Нижнем Новгороде от станции «Горьковская» до станции «Сенная».

Блок докладов «Безопасность на объектах подземного строительства» открылся сообщением А. А. Долева (АО «Мосинжпроект») «Риски при устройстве котлованов для строительства Московского метрополитена». Подземное строительство в условиях Московского мегаполиса сильно осложнено неоднородными инженерно-геологическими и гидрологическими условиями, плотной окружающей застройкой, сжатыми сроками производства работ. Следствием этого явля-

ется наличие серьезных рисков при производстве работ по устройству котлованов для строительства объектов метрополитена.

Подобные риски в достаточной степени разнообразны и для их минимизации требуется систематическое к ним отношение, постоянная фиксация состояния ограждающих конструкций котлованов и предупреждение возможных сверхнормативных деформаций. В противном случае полной потере котлована грозит его затопление, сверхнормативные деформации (вплоть до разрушения) ограждения котлована, невыполнение требований проекта (отсутствие возможности погружения шпунта на требуемую глубину для всех шпунтин), повреждение (вплоть до разрушения) окружающей застройки в зоне влияния.

П. В. Гречишкин (Филиал ООО «РСРС ГМБХ») рассказал об особенностях регионального прогноза удароопасности вмещающего массива подземных сооружений тоннелей на стадии проектирования, реконструкции и строительства. Строительство транспортных тоннелей, как правило, производится вне зон влияния опорного давления от очистных работ горнодобывающих предприятий и уровень напряжений во вмещающем массиве при проведении выработок в основном недостаточен для проявления динамических явлений. Существенный рост напряжений возможен при пересече-

А. А. Долев, АО «Мосинжпроект»



П. В. Гречишкин, Филиал ООО «РСРС ГМБХ»





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



Н. Ю. Трошков, Филиал ООО «РСРС ГМБХ»



Е. Н. Захарин, ООО «Эм-Си Баухеми»



М. С. Плешко, Горный институт НИТУ «МИСИС»

нии зон влияния нарушений и тектонически напряжённых зон. В нормативных документах по разработке рудных, нерудных и угольных месторождений содержатся требования по выполнению геодинамического районирования территорий горных отводов. В сводах правил по строительству транспортных тоннелей формально такие требования отсутствуют, однако это крайне важно для прогноза положения тектонически напряжённых зон и уровня напряжений в

этих зонах, особенно при влиянии природных сейсмических явлений.

В докладе представлены подходы к районированию территории строительства, уточнению регионального прогноза напряжённых зон по результатам геофизических исследований и опыта ведения горных работ и прогнозу удароопасности с применением численного моделирования.

В докладе К. А. Дорохина (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») был проанализиро-

ван опыт скважинного сейсмоакустического метода для контроля качества возведения ледогрунтового ограждения. Создание сплошного ледогрунтового ограждения является достаточно непростой задачей. Это связано и с технологическим процессом, и различными геологическими условиями. К основным и часто встречающимся проблемам относятся: расхождение соосности замораживающих скважин, движение грунтовых вод, нерегламентная работа замораживающего оборудования или локальные проблемы с трубками внутри скважин. Таким образом, необходим инструментальный контроль эффективности мероприятий по возведению ледогрунтового ограждения, и такой контроль может быть эффективно и оперативно выполнен с помощью скважинных сейсмоакустических исследований. С помощью метода межскважинной сейсмической томографии эффективно оценивается сплошность создаваемого ледогрунтового ограждения, выделяются участки, в которых процесс заморозки оказался недостаточным, и необходимо дополнительное замораживание для обеспечения сплошности возводимого ограждения. Рассчитываются основные физико-механические характеристики ледогрунтовой среды.

Параметры, полученные методом межскважинной сейсмоакустической томографии, необходимы также для уточнения техноло-

Г. Н. Полянкин, ФГБОУ ВО СГУПС





Фотография участников после окончания конференции во дворе ЦДА

гических параметров мероприятий по заморозке грунтов, в том числе: длительность заморозки, температурные режимы, особенности инженерно-геологических условий, влияющих на процесс становления ледогрунтового ограждения и пр.

К основным преимуществам метода межскважинной сейсмической томографии для решения задачи по оценке сплошности ледогрунтового ограждения можно отнести, прежде всего:

- высокую разрешающую способность исследований;
- возможность наблюдений практически на любые глубины даже в стесненных городских условиях (определяется глубиной скважин);
- возможность исследований в массиве прямо под основаниями зданий.

В докладе Н. Ю. Трошкова (Филиал ООО «РСРС ГМБХ») проанализированы особенности инженерно-геологических изысканий при проектировании строительства и реконструкции подземных сооружений Северомуйского тоннеля, в условиях современного нормативно-правового регулирования. Привычное правовое регулирование инженерно-геологических изысканий претерпело существенное изменение в последнее время. Разработка программы инженерно-геологических изысканий для проектирования строительства и реконструкции Северомуйского тоннеля и сами изыскания пришлось на период пересмотра ряда нормативных требований в этой области. По сути, многое в этой истории началось в одном нормативно-правовом поле, а завершается в другом. К этому трудно адаптироваться и инженерам-геологам, и проектировщикам, и научно-исследовательским организациям и экспертам, оценивающим результаты изысканий. Ввод ФЗ № 247 (Регуляторная гильотина) изменил подход к формированию подзаконных актов. Из перечня обязательных требований был исключен суще-

ственный список норм (ПП № 815). Регулируемые ФЗ № 384 инженерно-геологические изыскания при строительстве, в подавляющей части оказались применяемыми на добровольной основе. Сложилась ситуация отсутствия обязательных нормативных ориентиров в оценке полноты и качества инженерно-геологических изысканий.

Последнее сообщение этого блока – доклад Е. Н. Захарьина (ООО «Эм-Си Баухеми») «Опыт гидроизоляции и консолидирования грунтов инъекционными гидрогелями на объектах тоннелестроения». В нем описана технология консолидирования грунтов по методу вытягиваемых пик малого диаметра, отличающаяся малыми габаритами оборудования и его мобильностью, отсутствием необходимости производить буровые работы, высокой скоростью производства работ, в том числе в стесненных условиях, эффективностью в сложных горно-геологических условиях. Предлагается рассмотреть опыт применения данной технологии при строительстве подземного перехода со станции метро «Вокзальная» (2020 г.) на станцию метро «Площадь Ленина» (1984 г.) Минского метрополитена в условиях плотной городской застройки. Представлен опыт реализации проектного решения по герметизации тубинговой обделки на протяжении 4 км тоннеля по технологии инъекции гидрогеля на объекте строительства нового Байкальского тоннеля.

Последний блок работы конференции был посвящен подготовке и переподготовке инженерных кадров отрасли.

А. Н. Панкратенко и М. С. Плешко (Горный институт НИТУ «МИСиС») рассказали о реализации образовательных программ по направлению ВИМ-технологии в подземном строительстве на кафедре СПС и ИП Горного института НИТУ МИСиС. На кафедре ведется подготовка магистров по направлению «ВИМ-технологии в проектировании и строительстве», профессиональная переподготовка «ВИМ-

моделирование в подземном строительстве» и подготовка специалистов по направлению «Подземное строительство» с выделением трека «ВИМ-технологии» и внедрением методов группового проектного обучения.

Об особенностях, проблемах и перспективах подготовки инженеров – подземных транспортных строителей в РФ, на примере факультета «Мосты и тоннели» СГУПС рассказал Г. Н. Полянкин (ФГБОУ ВО СГУПС) (подробно в статье ниже в данном номере журнала).

В рамках обсуждения итогов был вне программы заслушан доклад Н. Г. Давтяна «Новое решение проектирования в метростроении», предложившего новый тип станции метрополитена глубокого заложения, а именно двухсводчатую станцию с общей опорой верхних и обратных сводов. Применение двухсводчатой станции, по утверждению автора, позволяет оптимизировать пассажиропоток, обеспечить долгосрочную и безопасную эксплуатацию на участках метрополитена, подходит для размещения на множестве подземных участков вне зависимости от внешних условий, имеет удобную конструкцию, а также обладает такими свойствами, как компактность и многофункциональность, что в целом позволяет значительно сократить затраты на строительство.

На следующий день для участников конференции состоялось посещение, организованное АО «Мосметрострой», на станцию «Шереметьевская», одну из самых глубоких в Московском метрополитене, готовящейся к пуску в эксплуатацию.

Редакция журнала надеется, что данная информация поможет взаимному интересу участников к достижениям коллег и будет способствовать дальнейшему внедрению в отрасль передовых технологий.



Материал подготовлен
И. Я. Дорманом и Д. С. Конюховым

НАГРАЖДЕНИЕ ПОБЕДИТЕЛЕЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОНКУРСОВ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ РОССИИ ЗА 2021 ГОД

После завершения пленарного заседания научно-технической конференции «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве 2022» состоялось награждение победителей конкурса ТАР «На лучшее применение технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений» за 2021 г. и XI конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России 2021».

Основные цели конкурсов – привлечение к участию в модернизации отрасли и повышение заинтересованности организаций-членов Тоннельной ассоциации России и специалистов-инженеров в новых эффективных технологиях подземного строительства. В процессе проведения конкурса технологий были выбраны наиболее передовые организации, применяющие инновационные технологии и новые решения научно-технических проблем в проектных разработках.

Жюри конкурса в составе А. Б. Лебедькова – Первого заместителя председателя правления – руководителя Исполнительной дирекции ТАР, М. Ю. Беленького – заместителя генерального директора АО «Мосметрострой», членов правления ТАР докторов технических наук, профессоров И. Я. Дормана, В. Е. Меркина, С. В. Мазина определило на основании представленных организациями материалов лауреатов-победителей конкурса. Награды вручал председатель правления ТАР К. Н. Матвеев.

Победителями конкурса «На лучшее применение технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений» за 2021 год стали:

- в номинации «Технологии при проходе тоннелей и строительстве подземных сооружений закрытым способом» лауреатом конкурса признано ООО «Институт «Мосинжпроект», которое представило работу «Математическое моделирование тоннелепроходческих работ и расчетный параметр, влияющий на оседание земной поверхности»;



Вручение знака победителя конкурса генеральному директору ООО «Институт «Мосинжпроект» Р. Х. Черкесову

- в номинации «Технологии при проходе тоннелей и строительстве подземных сооружений открытым способом» лауреатом конкурса признано АО «Моспромпроект», которое представило работу «Интеграция системы водопонижения в ограждающие конструкции котлована из «стены в грунте» траншейного типа»;

рация системы водопонижения в ограждающие конструкции котлована из «стены в грунте» траншейного типа»;



Вручение знака победителя конкурса представителю АО «Моспромпроект»

- в номинации «Разработки, ведущие к снижению стоимости строительства подземных объектов» лауреатом конкурса признано ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» (Санкт-Петербург). Организация представила работу «Способ вентиляции двухпутных тоннелей на участке Кожуховской линии Московского метрополитена», которая начала внедряться с 2016 г.;



Вручение знака победителя конкурса представителю ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

- в номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений» лауреатом конкурса признано АО «Мосинжпроект», работа которого называется «Интерактивное управление технологическими параметрами проходки двухпутного перегонного тоннеля Большой кольцевой линии под действующей станцией «Печатники» Московского метрополитена». Интерактивное управление проходкой двухпутного перегонного тоннеля позволяет исключить конструктивные мероприятия по усилению оснований, фундаментов и строительных конструкций существующих зданий и сооружений за счет оптимизации технологических параметров работы ТПМК и управления ими в режиме реального времени на основе данных геотехнического мониторинга. Путем реализации заявленной технологии была достигнута экономия бюджетных средств в размере 530 млн руб.;

ющих зданий и сооружений за счет оптимизации технологических параметров работы ТПМК и управления ими в режиме реального времени на основе данных геотехнического мониторинга. Путем реализации заявленной технологии была достигнута экономия бюджетных средств в размере 530 млн руб.;



Вручение знака победителя конкурса представителю АО «Мосинжпроект» Д. С. Конохову

- в номинации «Работы по стабилизации неустойчивых грунтов, устройству оснований и укреплению фундаментов» лауреатом конкурса признано АО «Нью граунд» (г. Пермь), которое представило работу «Технология струйной цементации известняков в днище строящегося котлована ст. «Терехово» Московского метрополитена».

Краткий обзор работ, представленных на конкурс технологий, был опубликован в предыдущем номере журнала («Метро и тоннели» № 1, 2022).

При подведении итогов ежегодного конкурса имени С. Н. Власова на звание «Инженер года Тоннельной ассоциации России» профессиональное жюри, руководствуясь Положением о конкурсе, определило 25 победителей – специалистов, занятых инженерной и научной деятельностью в организациях различных форм собственности. При этом все они добились в оцениваемый период существенных профес-



Вручение знака победителя конкурса представителю АО «Нью граунд»



Медаль и удостоверение А. В. Тихонову вручает член правления ТАР А. В. Ершов



Медаль и удостоверение Е. В. Дороту вручает член правления ТАР А. В. Ершов



Медаль и удостоверение К. В. Шумилясту вручает почетный член ТАР В. П. Полищук

сиональных результатов на уровне современных достижений науки и техники.

Победителями XI конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России 2021» признаны:

• в номинации «Инженер года в области проектно-конструкторских работ»:

- Белых Ольга Михайловна, ведущий инженер АО «Метрогипротранс»;
- Зубарев Денис Сергеевич, руководитель управления инжинирингом объектов депо и транспортно-пересадочных узлов, руководитель по проектированию объектов метрополитена (совмещение) АО «Мосинжпроект»;
- Иммануилов Павел Алексеевич, главный инженер проектов ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс»;

• Сигута Юрий Васильевич, руководитель направления геотехники и математического моделирования АО «Мосинжпроект»;

• в номинации «Инженер года в области строительства метрополитенов в РФ»:

- Арутюнян Аркадий Викторович, заместитель генерального директора – главный инженер УП «Минскметрострой»;
- Володин Матвей Владимирович, руководитель проекта ООО «ИБТ»;
- Гайсин Рафаэль Рамильевич, заместитель начальника участка АО «Казметрострой»;
- Дианов Виктор Игоревич, заместитель начальника отдела АО «Мосметрострой»;
- Дмитриев Дмитрий Валерьевич, главный технолог АО «Метрострой Северной столицы»;
- Донис Максим Евгеньевич, заместитель генерального директора ООО «ИБТ»;
- Зубарев Владислав Сергеевич, начальник геотехнического отдела АО «Моспромпроект»;
- Исайкин Алексей Владимирович, руководитель контракта АО «Мосметрострой»;
- Марков Максим Алексеевич, заместитель начальника ССУ-12 АО «Нью Граунд»;
- Маслаков Константин Владимирович, генеральный директор ООО «МИП-Строй № 1»;
- Наумов Алексей Юрьевич, руководитель проекта АО «Метрострой Северной столицы»;
- Островский Николай Сергеевич, руководитель отдела по механизированной проходке и специальным видам работ АО «Мосинжпроект»;
- Порохня Валерий Вячеславович, заместитель генерального директора – начальник производственно-технического управления аппарата управления АО «Объединение «Ингеоком»;



Медаль и удостоверение О. М. Белых вручает руководитель Исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедев



Медаль и удостоверение А. В. Арутюняну вручает руководитель Исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедев



Медаль и удостоверение А. В. Володину вручает руководитель Исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедев



Медаль и удостоверение В. В. Порохне вручает президент Союза архитекторов России Н. И. Шумаков

• Цюпа Дмитрий Александрович, руководитель дирекции по проектированию объектов метрополитена АО «Моспроект-3»;

• в номинации «Инженер года в области строительства инженерных коммуникаций и коммунальных тоннелей»:

- Шумиляст Константин Сергеевич, главный инженер обособленного подразделения АО «УС-30»;
- Умеренков Евгений Валерьевич, к. т. н., доцент ЮЗГУ (г. Курск);
- в номинации «Инженер года в области строительства городских и горных автомобильных и железнодорожных тоннелей»:
- Дорот Евгений Вячеславович, член правления, заместитель генерального директора по инновационному развитию АО «РЖДстрой»; генеральный директор ООО «РСРС ГмбХ Рэлвэй Инфрастратчер Проджектс»;
- Махаев Александр Анатольевич, главный инженер проекта ООО Проектно-изыскательский институт «Бамтоннельпроект»;
- Надыршин Алексей Сагитзянович, первый заместитель генерального директора по

производству и капитальному строительству ООО «МИП-Строй № 1»;

• в номинации «Молодые (до 30 лет) инженерные кадры научных, проектных, проектно-конструкторских и строительных организаций»:

- Маркин Михаил Владимирович, начальник отдела обследования и мониторинга сооружений ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»;
 - Тихонов Антон Владимирович, главный инженер ООО «Институт «Мосинжпроект».
- На фотографиях – вручение медали и удостоверения «Лауреат конкурса инженеров им. С. Н. Власова» некоторым победителям конкурса, которое по поручению президиума правления ТАР проводили: член правления ТАР А. В. Ершов, почетный член ТАР В. П. Полищук, руководитель Исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедев, президент Союза архитекторов России Н. И. Шумаков.

Правление ТАР и редакция журнала поздравляют лауреатов и желают им дальнейших творческих успехов.



Материал подготовлен
И. Я. Дорманом и С. В. Мазейным

ПЕРЕСАДОЧНЫЙ УЗЕЛ МЕЖДУ СТАНЦИЯМИ «ПУТИЛОВСКАЯ» И «КИРОВСКИЙ ЗАВОД» МЕТРОПОЛИТЕНА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

INTERCHANGE HUB BETWEEN THE STATIONS «PUTILOVSKAYA» AND «KIROVSKY ZAVOD» OF THE METRO OF ST. PETERSBURG

А. Б. Лебедев, И. Я. Дорман, С. В. Мазейн, Тоннельная ассоциация России

A. B. Lebedkov, I. Y. Dorman, S. V. Mazein, Tunnel Association of Russia

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

In St. Petersburg, the construction of the Krasnoselsko-Kalininskaya metro line with an interchange hub between the «Putilovskaya» station under construction and the «Kirovsky Zavod» station of the Kirovsko-Vyborgskaya line. The complex of facilities of the interchange hub, in accordance with No. 384-FZ «Technical Regulations on the Safety of Buildings and Structures» and GOST 27751-2014 «Reliability of Building Structures and Foundations» refers to structures of an increased level of responsibility (class KS-3), in connection with which, an independent assessment of the quality of design was required, which, on the instructions of the design organization JSC «Metrogiprotrans», was performed by specialists of the Tunnel Association of Russia, the results of which are set out in this article.

В настоящее время в Санкт-Петербурге продолжается строительство Красносельско-Калининской линии от станции «Юго-Западная» до станции «Путиловская».

Эта линия (М6 на рис. 1) пересекается в плане под острым углом и глубже примерно на 15 м с действующей Кировско-Выборгской линией (М1) в районе станции «Кировский завод».

Между этими линиями АО «Метротранс» выполнена рабочая документация пересадочного узла.

В соответствии с требованиями №384-ФЗ и ГОСТ 27751-2014 Тоннельной ассоциацией России по Техническому заданию АО «Метротранс» были выполнены анализ и оценка качества проектирования по следующим разделам проекта:

- объему и качеству инженерных изысканий;
- результатам обследования конструкций действующей станции «Кировский завод»;
- методам и результатам определения напряженно-деформированного состояния конструкций пересадочного узла при строительстве;
- техническим решениям и мероприятиям по обеспечению безопасности строитель-

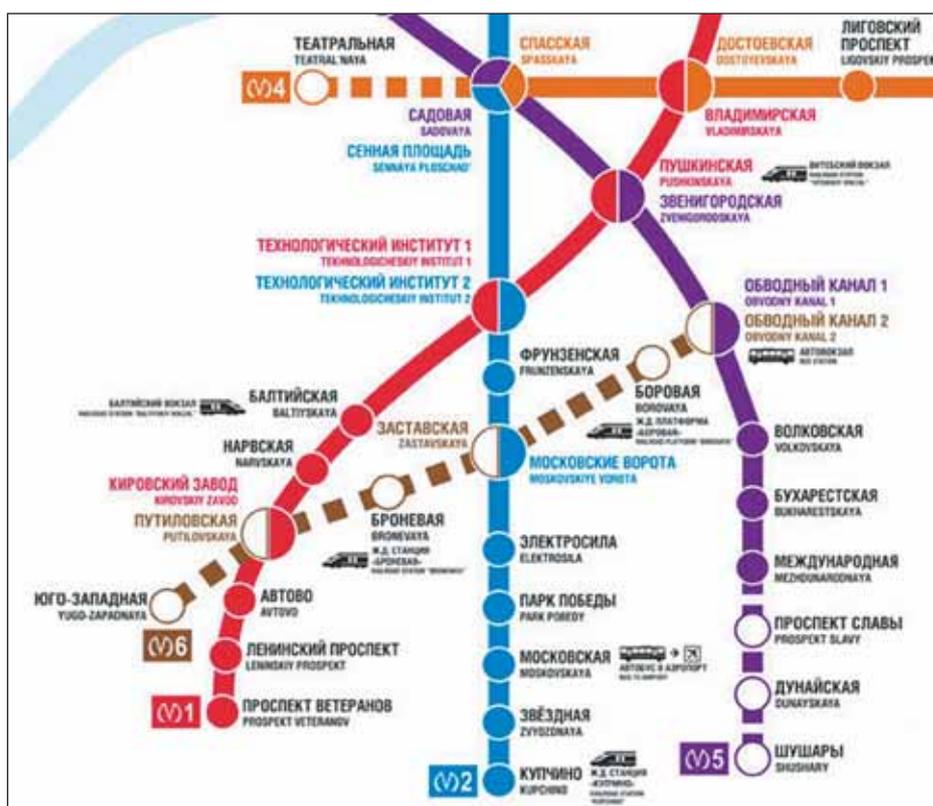


Рис. 1. Фрагмент плана линий Санкт-Петербургского метрополитена

ва без перерыва движения поездов по действующей линии.

Исходной информацией для экспертизы послужила проектная документация АО «Метрогипротранс», включая разделы, выполняемые субподрядными организациями, в том числе и корректировка по замечаниям ФАУ «Главгосэкспертиза».

Объемно-планировочное решение пересадочного узла

Первоначально проектом, разработанным в 2013–2014 гг. институтом ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», примыкание пересадочного комплекса от станции «Путиловская» к станции «Кировский завод» предусматривалось через торец этой станции (рис. 2), что требовало при строительстве остановки движения поездов по участку Кировско-Выборгской линии.

В 2018 г. правительством Санкт-Петербурга в лице СПб ГКУ «Дирекция транспортного строительства» было принято по предложению АО «Метрогипротранс» и ОАО «Метрострой» иное решение, а именно, сооружать пересадочный узел без перерыва движения поездов с боковым примыканием пересадки к действующей станции «Кировский завод» (см. рис. 2).

Рассмотрим, почему строительство пересадочного комплекса горным способом в протерозойских глинистых грунтах через торец станции «Кировский завод» по проекту ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» невозможно без остановки движения поездов.

Переходные коридоры № 1 и 2 от станции «Путиловская» (поз. 4 рис. 2) размещаются непосредственно под действующими более 60 лет перегонными тоннелями Кировско-Выборгской линии (кровля между ними составляет менее 3 м и породы находятся в нарушенном состоянии по отношению к вмещающему массиву) и входят в камеру промежуточного вестибюля № 1 (поз. 1 рис. 2).

Для подъема, примерно на 15 м в уровень станции «Кировский завод», из камеры промежуточного вестибюля № 1 выполняется сооружение натяжной камеры и наклонного хода (поз. 3 рис. 2), а также промежуточного вестибюля № 2 (поз. 2 рис. 2).

Ширина камер на участке строительства изменяется от 10 до 12 м, а ширина целика между эксплуатируемыми перегонными тоннелями и камерами на данных участках уменьшается до 1 м и менее (сеч. 8–8 рис. 2).

Практика работ в грунтовых условиях Санкт-Петербурга показывает, что при строительстве подобных камер вблизи существующих подземных сооружений, смещение контура последних может достигать 35 см, что, естественно, недопустимо для эксплуатируемых перегонных тоннелей!

С учетом того, что протяженность камер пересадочного комплекса составляет порядка 60 м, их строительство может привести к развитию неравномерных деформаций экс-

плуатируемых перегонных тоннелей, величины которых могут быть выше предельно допустимых по СП 474.1325800.2019.

На рис. 3 показаны фрагменты строительства вблизи эксплуатируемых тоннелей горным способом методом опертого свода камеры и наклонного хода, анализ которых свидетельствует, что при сооружении натяжной камеры перегонные тоннели, как бы «подкапываются». А далее при сооружении снизу вверх наклонного хода будет отсутствовать отпор грунта в междупутье при давлении сверху на перегонные тоннели бетонного свода машинного отделения.

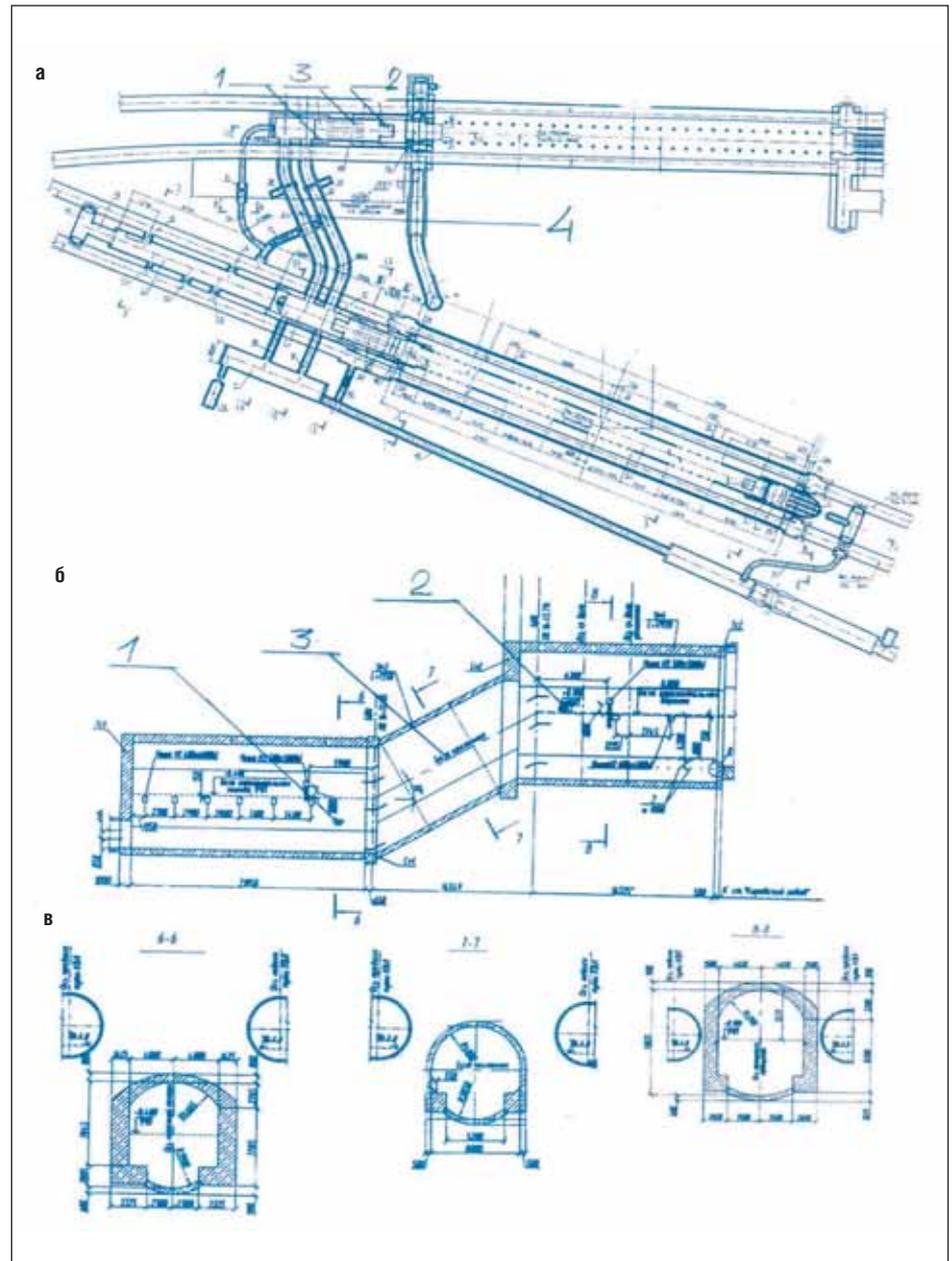
В проектной документации ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» в качестве компенсационных мероприятий было предусмотрено усиление (увеличение жесткости) обделки перегонных тоннелей изнутри сечения, но отсутствовала оценка

развития деформаций (смещений) обделки в массиве, никак не связанных с увеличением их жесткости.

В заключении Санкт-Петербургского Горного университета (СПГУ) при примыкании пересадки в торец станции: «*техническое решение усиления обделки перегонных тоннелей метрополитенов без оценки развития деформаций обделки, ... не позволяет оценить эффективность данного решения*», и далее, поскольку «*предлагаемое решение усиления обделки направлено на обеспечение ее несущей способности при формировании дополнительной нагрузки от строительства камер и выработок, но не является эффективным, с точки зрения снижения развития деформаций породного массива*».

К сожалению, в проектной документации ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» отсут-

Рис. 2. Схема пересадочного узла по предложению ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»: а – план; б – фрагмент продольного разреза, 1 и 2 – промежуточные вестибюли, 3 – наклонный эскалаторный тоннель; в – сечения б–б, 7–7, 8–8



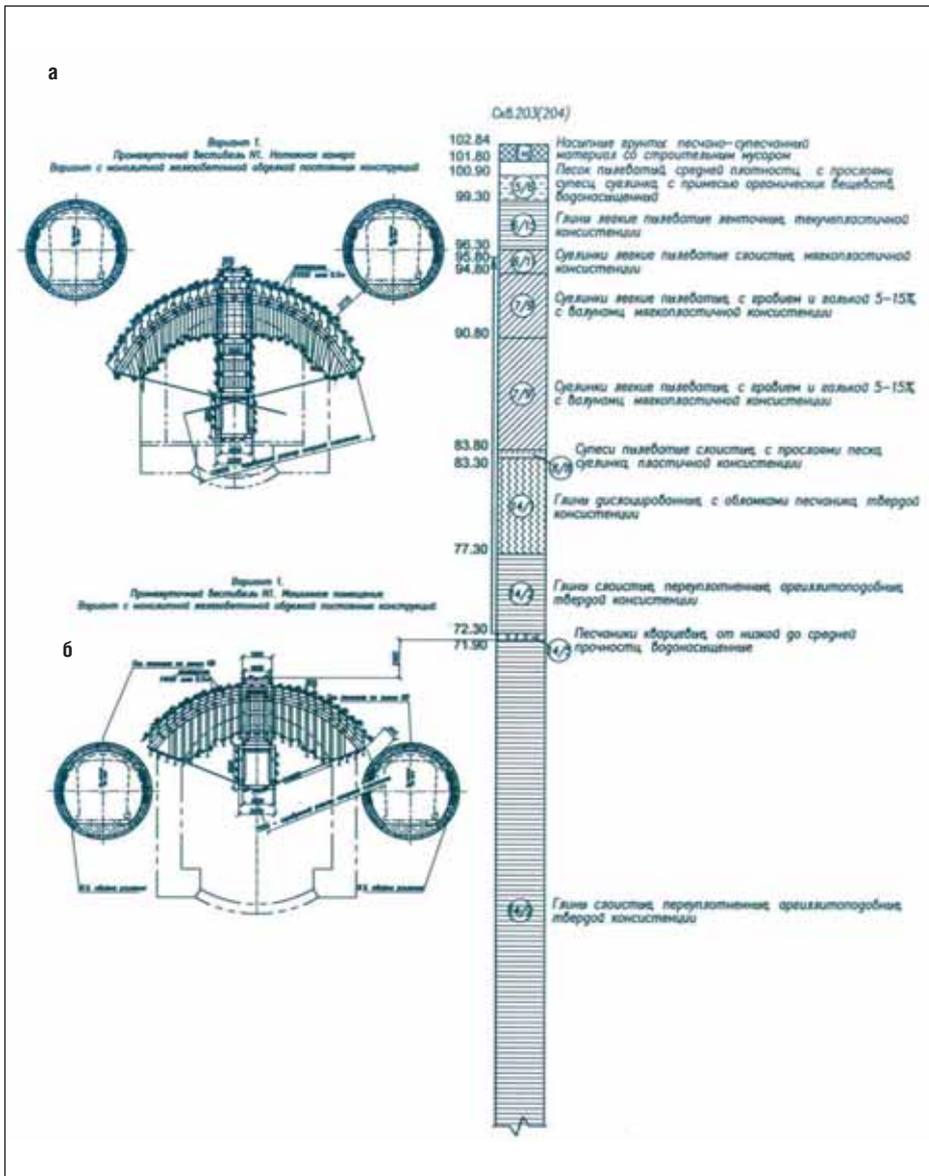
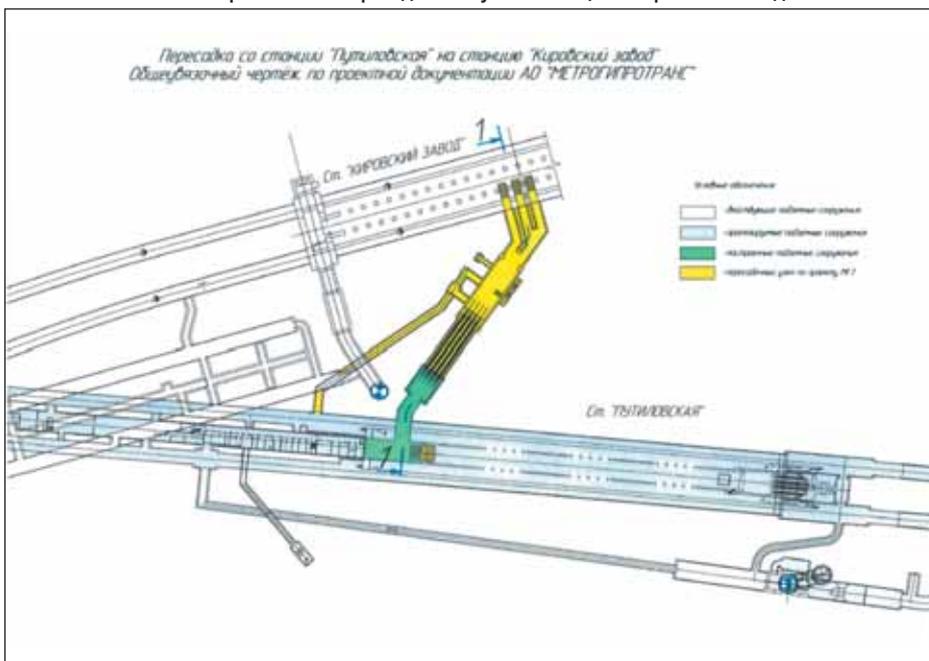


Рис. 3. Фрагменты строительства камеры и наклонного хода горным способом вблизи эксплуатируемых тоннелей: а – натяжная камера; б – машинное помещение

Рис. 4. Схема бокового примыкания пересадочного узла к станции «Кировский завод»



ствовало обоснование, что при торцевом примыкании пересадочного узла возможно производство горно-строительных работ без остановки движения поездов.

В проектной документации АО «Метро-гипротранс» пересадочный узел от станции-тоннеля станции «Путиловская» предусмотрен с боковым примыканием к центральной части расположенной выше почти на 15 м эксплуатируемой станции «Кировский завод» со стороны его правого станционного тоннеля (рис. 4). Это позволяет не останавливать движение поездов при применении соответствующей технологии строительства.

Рассмотрим конструктивное и объемно-планировочное решение пересадочного узла при боковом присоединении к станции «Кировский завод».

Станция «Кировский завод» (рис. 5) колонного типа глубокого заложения (глубина 44 м) с междупутем 19 м со сборной обделкой из чугунных тубингов.

На станции расположены в два ряда 31 пара колонн, смонтированных из корытообразных чугунных тубингов и соединенных между собой сводом.

Пересадочный узел (рис. 6) состоит:

- из расположенной в междупуте за торцом станции «Путиловская»;
- камеры лестничного спуска с ходком над левым путем станции с лестничным маршем;
- натяжной камеры 4-ленточного эскалаторного тоннеля высотой 14,4 м и далее на подходе к существующей станции «Кировский завод»;
- промежуточного вестибюля с машинным помещением эскалаторов и камерой металлоконструкций.

Пересадочный узел заканчивается тремя проходами (ходками) над путями станции «Кировский завод» с лестничными маршами.

Наиболее ответственная конструкция при строительстве пересадочного узла – три ходка от промежуточного вестибюля через чугунную обделку правого бокового станционного тоннеля действующей станции «Кировский завод» с лестничными маршами для спуска на платформу. Ходки начинаются в торце промежуточного вестибюля непосредственно за камерой металлоконструкций и приняты шириной в свету от 3,04 м вначале до 3,75 м на примыкании к обделке бокового станционного тоннеля. Толщина стен ходков и минимальная толщина верхнего свода и лотка принята 500 мм.

Для прохода над путями разбираются верхние тубинги чугунных колец правого станционного тоннеля на ширину каждого ходка.

При боковом примыкании пересадочного комплекса к станции «Кировский завод» в зону влияния нового строительства попадают боковой и центральный станционные тоннели существующей станции. Дополнительное давление на обделку станционных тоннелей формируется



Рис. 7. Первая расчетная схема и общий вид расчетной модели определения НДС станции

слоем гравелитовых песчаников и конгломератов.

Можно констатировать, что характеристики грунтов, полученные в результате комплексных исследований и которые затем были использованы в расчетных схемах оценки напряженно-деформированного состояния станции «Кировский завод» при сооружении пересадочного узла, достоверны и достаточны.

Оценка результатов обследования действующих сооружений метрополитена

Станция «Кировский завод» является действующей станцией Петербургского метрополитена и объектом культурного наследия.

В связи с этим в зоне организации пересадки (см. рис. 4) отсутствовала возможность проведения обследования технического состояния строительных конструкций для обделки станции со снятием облицовки без полного закрытия станции. В сложившихся обстоятельствах для разработки проектной документации по организации строительства пересадочного узла были проведены дополнительные исследования в соответствии с ГОСТ Р 57208-2016.

На основании полученной в результате расчетов зоны влияния нового строитель-

ва вследствие изменения положения пересадочного узла и формирования бокового проема в обделке станции метрополитена «Кировский завод» были проведены геофизическое, визуальное-инструментальное обследование, лазерное сканирование ближайших к зоне врезки доступных сооружений с целью оценки состояния контакта конструкции с вмещающим грунтовым массивом «обделка-грунт».

На основании результатов геофизического обследования не обнаружено участков ослабленного контакта конструкций метрополитена с вмещающим грунтовым массивом, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии контакта «обделка-грунт» конструкций, попадающих в зону влияния строительства.

Оценка расчетных моделей, программных средств и результатов определения НДС конструкций станции

В проектной документации выполнена оценка воздействия строительства сооружений пересадочного узла, особенно участка стыковки со станцией метрополитена «Кировский завод», на напряженно-деформированное состояние конструкций существующих станционных обделок при формировании проема в обделке станции,

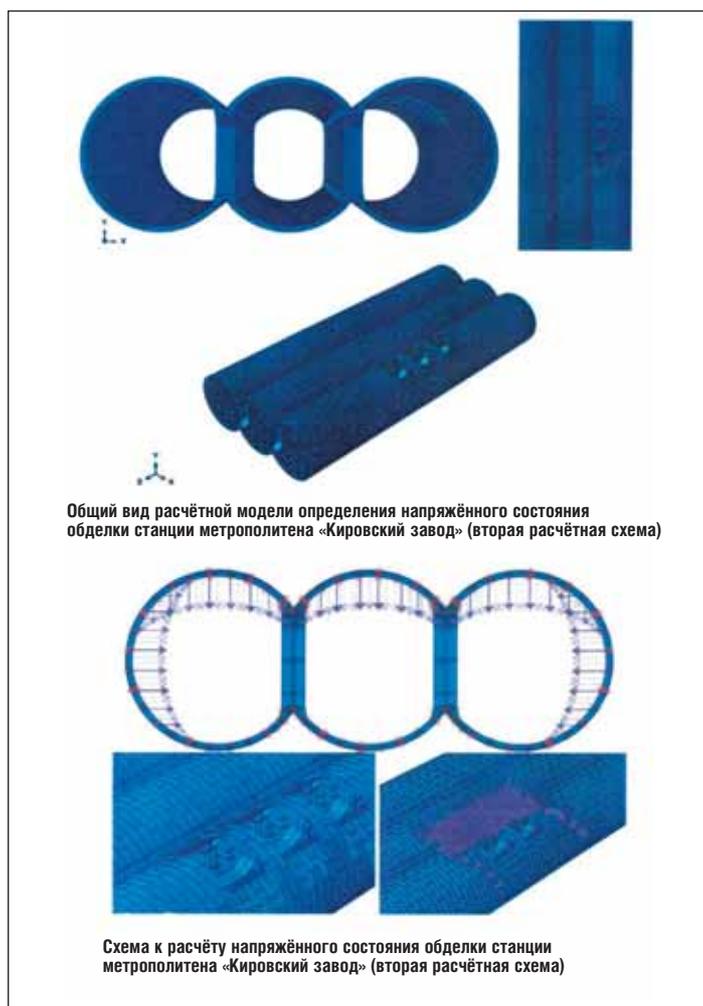


Рис. 8. Вторая расчетная схема и общий вид расчетной модели определения НДС станции

в том числе, воздействие ледогрунтового массива при замораживании кровли над зоной пересадки.

Оценка воздействия строящихся подземных сооружений пересадочного комплекса на существующие конструкции выполнена на основании численного моделирования формирования напряженно-деформированного состояния породного массива и вмещающих конструкций подземных сооружений в пространственной постановке, с учетом особенностей механического поведения породного массива.

Оценка дополнительного воздействия на обделку существующих подземных сооружений выполнена на основании сравнения расчетных напряжений с допускаемыми напряжениями по нормативным документам.

Расчеты велись параллельно двумя организациями, имеющими свидетельства о допуске и опыт подобных исследований с использованием «независимо разработанных сертифицированных программных средств», как это предписано требованиями 384-ФЗ: в январе 2020 г. – кафедрой строительства горных предприятий и подземных сооружений СПГУ (руководители работы – доктора технических наук М. А. Карасев и А. Г. Протосеня), в декабре

2021 г. – Научно-исследовательским центром АО «Метрогипротранс» (руководитель работы – доктор физико-математических наук С. А. Гришин).

Прогноз геомеханического взаимодействия элементов пересадочного узла сложной пространственной конфигурации выполнялся СПГУ в рамках пространственной постановки. Задача решалась с применением программного комплекса «Dassault Systems Simulia Abaqus», реализующего метод конечных элементов на основании численного моделирования по схеме совместного взаимодействия обделки подземного сооружения с породным массивом.

Учено наличие болтовых связей между тубингами, повышающих жесткость конструкции. При расчете напряженно-деформированного состояния обделки станционного комплекса учитывалась возможность формирования пластических шарниров и их влияния на перераспределение напряжений в обделке станции «Кировский завод». За момент начала формирования пластического шарнира принята величина расчетных сопротивлений чугуна на растяжение. Развитие напряженно-деформированного состояния в пластическом шарнире определяется по диаграмме деформирования чугуна в условиях одноосного сжатия и растяжения.

Приняты следующие нагрузки: вертикальная и горизонтальная составляющие давления грунта на обделку, дополнительные нагрузки на колонно-прогонный комплекс на участке проема (передача нагрузки от железобетонной обделки пересадочного коридора на участке раскрытия проема станции метрополитена) и нагрузка от давления морозного пучения в результате формирования зоны искусственно замороженных пород над участком строительства пересадочного комплекса.

При выполнении расчетов учитывалось положение п. 5.6.5.5 СП 120.13330.2012 о том, что для сборных чугунных и железобетонных обделок с перевязкой стыков и связями растяжения возможно образование пластических шарниров за счет введения пониженного коэффициента изгибной жесткости для кольца обделки.

При расчетах сечение чугунных тубингов принято на 4 мм меньше проектных размеров из-за коррозии.

При рассмотрении участка сопряжения станции метрополитена «Кировский завод» и выработок пересадочного комплекса приняты две расчетные схемы.

Первая расчетная схема (рис. 7) включает в себя как обделку станции метрополитена «Кировский завод», так и обделку выработок пересадочного комплекса, которая формирует дополнительный отпор и препятствует деформированию чугунной обделки станционных тоннелей на участке проема. Величина нагрузки на обделку определяется величиной веса пол-

ного столба породы с учетом коэффициента надежности по нагрузке. Эта нагрузка частично передается на крайние кольца чугунной обделки, примыкающей к проему, две арки (по два кольца чугунной обделки в арке), оставленные внутри проема, и породный массив со стороны пересадочного комплекса.

Вторая расчетная схема (рис. 8) предполагает, что железобетонная обделка примыкающих выработок пересадочного комплекса (ходков) создает только дополнительную нагрузку на обделку станционных тоннелей, при этом отпор деформированию обделки станционных тоннелей станции метрополитена «Кировский завод» условно отсутствует (аварийный сценарий, нарушение технологического режима раскрытия проема в обделке станционного тоннеля).

В рамках разработанной конечно-элементной модели строительства комплекса выработок пересадочного узла была реализована этапность строительства.

Независимо от принятой расчетной схемы, при строительстве пересадки в элементах обделки формируются пластические деформации, что приводит к формированию в ней пластических шарниров и последующему перераспределению напряжений. Такая работа конструкций в целом не противоречит положениям нормативных документов СП 120.13330.2012 «Метрополитены» и СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции», где допускается выполнять расчет конструкций с учетом развития пластических деформаций. Формирование пластических шарниров снижает жесткость конструкции и увеличивает ее способность к деформации.

Пластические деформации, вызванные растягивающими напряжениями, распространяются на участках, приуроченных к проему, и вызывают изменение напряженного состояния. Полученные в результате перераспределения напряжений величины сжимающих напряжений не превышают соответствующего расчетного сопротивления чугуна марки СЧ-21-40.

Научно-исследовательским центром АО «Метрогипротранс» было выполнено 3D-мо-

делирование строительства ходков пересадки на станцию «Кировский завод» программой MIDAS FEA NX 2021.

Конструкции приняты линейно-упругими изотропными 3D-телами. Общий вид модели для оценки напряженно-деформированного состояния при врезке пересадки показан на рис. 9.

Расчет осуществляется в три этапа. На первом этапе вычисляется исходное напряженное состояние массива грунта. На втором «строится» станция «Кировский завод» (активируется ее конструкция, грунт изнутри удаляется). Третий этап различен в зависимости от варианта. Здесь либо просто удаляется несколько тубингов обделки одного из колец, либо удаляются все необходимые тубинги и вместо них активируется конструкция ходков.

На 3D иллюстрациях в работе НИЦ АО «Метрогипротранс» показаны чугунные элементы конструкции станции «Кировский завод» по окончании расчетов.

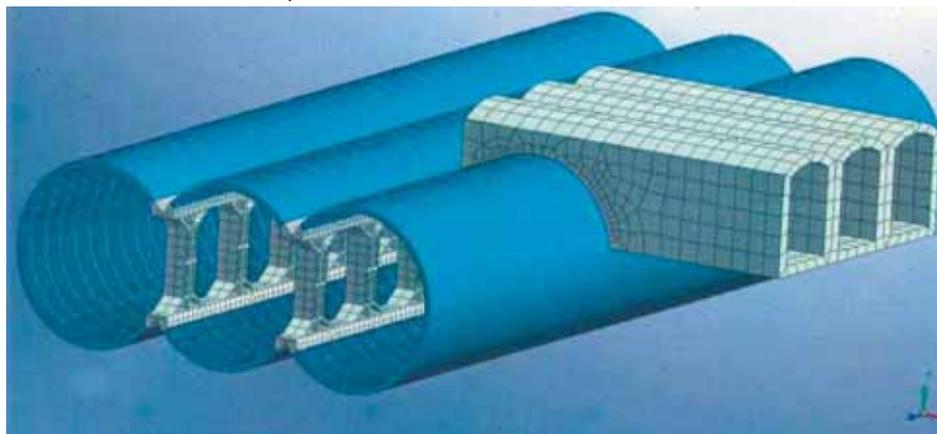
На рисунках в работе показаны поля «наиболее растягивающих» главных напряжений в конструкции по окончании расчетов, которые не превосходят 42 МПа или 32 МПа, что существенно ниже предела прочности на растяжение.

Также представлено поле «наиболее сжимающих» главных напряжений в конструкции станции по окончании расчетов, которые не превосходят 128 МПа или 123 МПа, что обеспечивает достаточный запас прочности на сжатие.

Вывод. Основные результаты расчетов НИЦ АО «Метрогипротранс» коррелируются с результатами расчетов СПГУ, а именно: главные напряжения в чугунных конструкциях станции «Кировский завод» при сооружении пересадочного узла не достигают предела прочности ни на растяжение, ни на сжатие.

В проектной документации выполнен также расчет и оценка усилий в сечении болтовых соединений. На участках болтовых соединений тубингов между собой в численной модели предусматривались специальные контактные элементы (уравнения связи), которые позволяли моделировать передачу усилий между торцами

Рис. 9. Общий вид модели с пересадкой



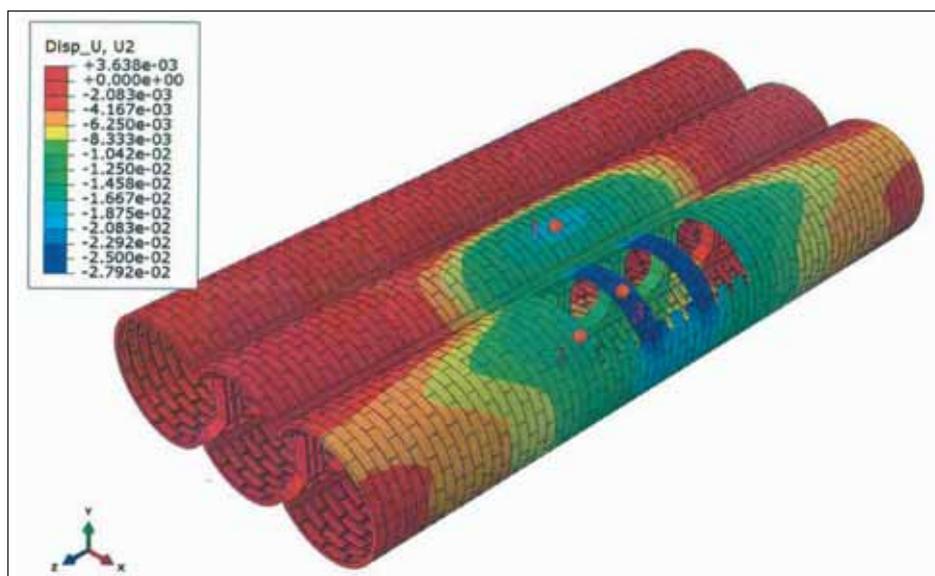
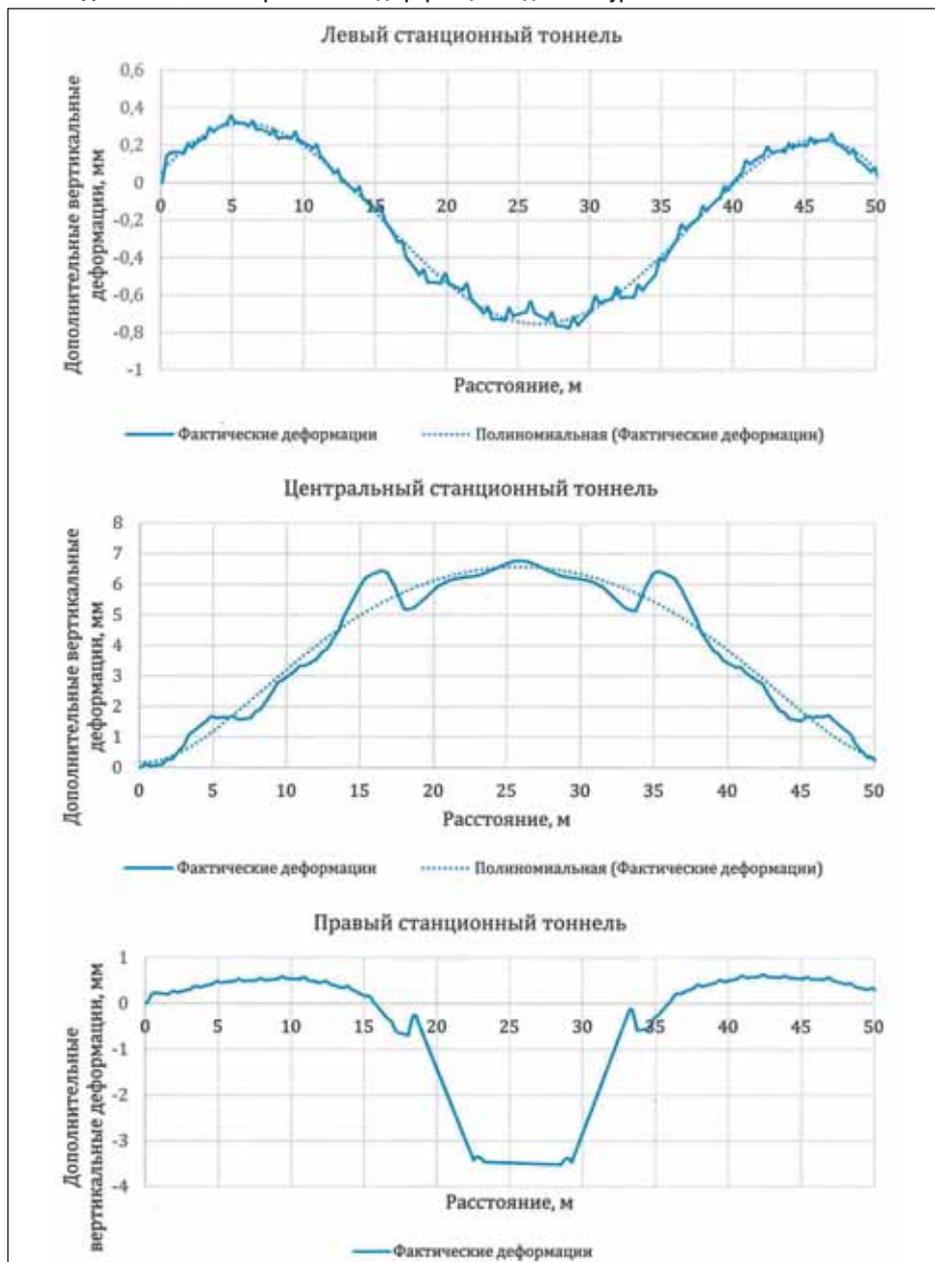


Рис. 10. Вертикальные дополнительные деформации (смещения) обделки станции на участке раскрытия проема

Рис. 11. Дополнительные вертикальные деформации обделки на уровне основания тоннеля



тубинговой обделки. При выполнении расчетов вводился фактический диаметр болтовых связей, а также продольная жесткость болтовых связей.

Болтовая связь может сжиматься и растягиваться, а также оказывать сопротивление сдвигу. Усилия в болтовых связях формируются в процессе совместного деформирования обделки с породным массивом и взаимодействия отдельных тубингов между собой.

В результате выявилась необходимость замены болтовых связей на высокопрочные соединения.

Вывод. Выполненные аналитические исследования, основанные на достоверных инженерно-геологических исходных данных и справочных данных по свойствам чугуна обделки, с использованием современных расчетно-программных комплексов, позволяют на стадии проектирования оценить напряженно-деформированное состояние конструкций станции «Кировский завод» при сооружении врезки через обделку правого станционного тоннеля пересадочного коридора со станции «Путиловская».

Оценка дополнительных деформаций конструкций станции «Кировский завод»

Предельно допустимые деформации сооружений метрополитена при расположении действующих объектов метрополитена в зоне влияния нового строительства для подземных и тоннельных сооружений, наземных участков линий установлены в своде правил СП 474.1325800.2019.

Согласно выполненным обследованиям, техническому состоянию обделки станции метрополитена «Кировский завод» присвоена категория II. В соответствии с этим предельно-допустимые дополнительные абсолютные деформации для чугунной обделки станции метрополитена должны составлять не более 20 мм, а изменение уклона пути не должно превышать 3 ‰.

На рис. 10 представлены в виде эпюры возможные по результатам расчетов дополнительные деформации, вызванные строительством пересадочного комплекса и раскрытия проема в станционной обделке станции «Кировский завод», которые не превышают предельно-допустимых величин. Так, величина дополнительных деформаций в своде центрального станционного тоннеля составляет 18 мм, деформации на участке примыкания обделки центрального станционного тоннеля к сопряжению составляют 16 мм. Абсолютные деформации в арках проема несколько больше предельно допустимых, и составляют 27 мм, но необходимо отметить, что на данном участке происходила изначально разгрузка данных конструктивных элементов, и только потом уже их дополнительная нагрузка от железобетонной обделки узла сопряжения. Таким

образом, на данные арки условие дополнительных деформаций не следует распространять, так как они испытывали как разгрузку, так и последующую дополнительную нагрузку.

На рис. 11 представлены в виде эпюр вертикальные деформации обделки по грунтовому основанию тоннеля и, соответственно, деформации путей метрополитена.

Максимальная величина дополнительного уклона пути, вызванная строительством пересадочного узла и его сопряжением с существующей станцией метрополитена, составила 0,08 %, что меньше допустимых значений.

Вывод. Дополнительные деформации, вызванные строительством пересадочного комплекса и раскрытием проема в станционной обделке станции метрополитена «Кировский завод», не превышают предельно-допустимых величин, регламентируемых требованиями нормативных документов.

Анализ и оценка мероприятий по мониторингу во время строительства

На основании анализа напряженно-деформированного состояния обделок станционных тоннелей станции «Кировский завод» определено, что при раскрытии проема комплекс смещается в сторону раскрытия проема, что приводит к формированию дополнительных напряжений в обделке правого станционного тоннеля.

Учитывая, что в процессе разработки грунта, в зоне непосредственно примыкающей к ходкам при устройстве проемов, возможно формирование пластических шарниров в обделке бокового тоннеля, снижающее жесткость конструкции обделки и увеличивающее ее способность к деформации. В процессе экспертизы нами было предложено до начала указанных работ после снятия в боковом тоннеле облицовки, на каждом кольце устраивать жесткую временную распорку за пределами габарита, пример которой схематично показан рис. 12.

При раскрытии проема в обделке станции «Кировский завод» для примыкания переходного коридора в кольцах обделки, находящихся вблизи зоны примыкания, из-за возможного развития пластических деформаций в чугуне и стальных болтовых соединениях необходимо организовать мониторинг напряженно-деформированного состояния.

В программу мониторинга входят:

- оценка геодинамической активности массива на пройденных участках;
- инженерно-геологический и гидрогеологический прогноз впереди забоя тоннеля;
- определение фактических деформационно-прочностных свойств вмещающего грунта;
- определение напряженно-деформированного состояния крепей и обделок в натурных условиях;

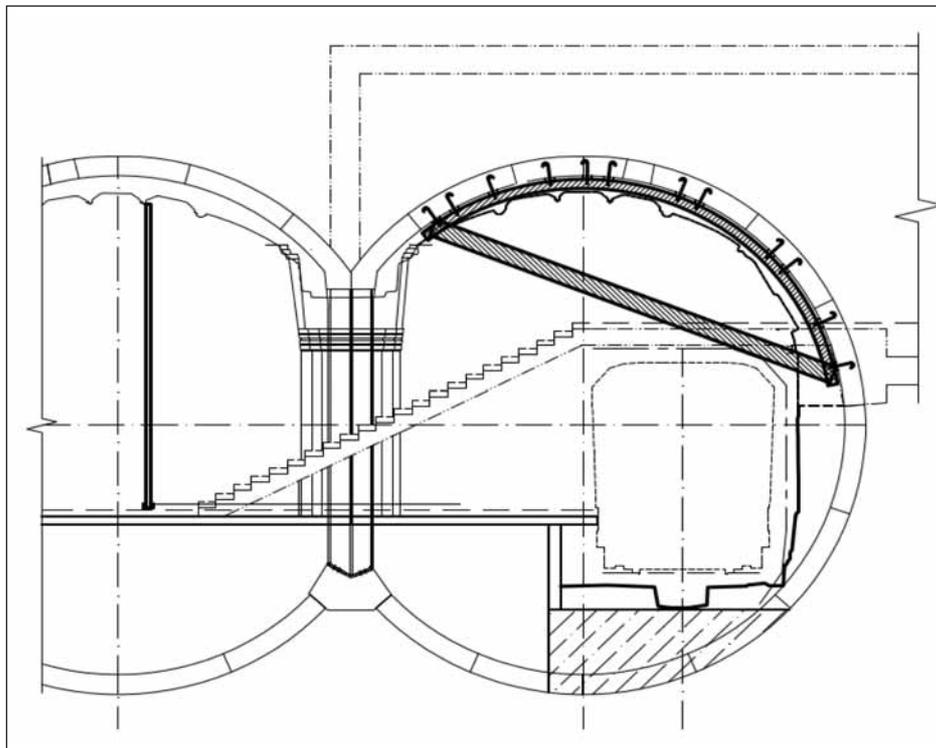


Рис. 12. Предлагаемый вариант временной распорной системы на период строительства

- контроль качества закрепленных грунтов;
- контроль качества заобделочного нагнетания.

Фактическое положение датчиков, способ замера напряженного состояния, частота снятия показателей измерений и т. д. должны быть разработаны в проекте производства работ организацией, которая будет осуществлять геотехнический мониторинг.

Заключение

В результате проведенной работы по анализу проектной документации пересадочного узла можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Контроль качества выполнения АО «Метрогипротранс» инженерно-геологических и проектных работ участка пересадочного узла, включающего промежуточный вестибюль с камерой металлоконструкций, три ходка для сооружения через врезку в обделку эксплуатируемого бокового тоннеля станции «Кировский завод», лестничные сходы в средний зал станции «Кировский завод», не выявил отступлений в них требований нормативных документов. Рекомендовано для уменьшения процента армирования конструкций наклонного хода и промежуточного вестибюля увеличить толщины стен и сводов.

2. При строительстве пересадочного комплекса необходимо организовать геотехнический мониторинг, основными этапами которого следует считать:

- выполнение, по мере снятия архитектурной облицовки и водозащитных зонтов правого станционного тоннеля и до демонтажа тубингов, инструментального контроля геометрических размеров колец

обделок в зоне проема. После демонтажа первого тубинга произвести измерение и оценку изменения фактической толщины спинок и ребер тубингов и осуществить камеральное исследование фактических физико-механических свойств чугуна тубингов из-за коррозии за время многолетней эксплуатации;

- выполнение проверочных расчетов напряженно-деформированного состояния несущих конструкций по результатам определения фактической толщины спинок и ребер тубингов и их фактических физико-механических свойств.

3. Разработанная организация строительства, конструктивные и технологические решения по врезке пересадочного коридора в боковой тоннель станции «Кировский завод», требования к мониторингу при строительстве позволяют по разработанной документации безопасно для эксплуатации действующей станции и окружающей среды осуществить строительство пересадочного узла без перерыва движения поездов по Кировско-Выборгской линии Петербургского метрополитена.

Ключевые слова

Станция метрополитена, пересадочный узел, расчет.

Metro station, interchange hub, calculation.

Для связи с авторами

Лебедев Александр Борисович
info@rus-tar.ru
Дорман Игорь Яковлевич
info@rus-tar.ru
Мазин Сергей Валерьевич
info@rus-tar.ru



ДВУХСВОДЧАТАЯ СТАНЦИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА – ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ. КОНСТРУКТОРСКАЯ МЫСЛЬ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Н. Г. Давтян

Растущий объем городских пассажирских перевозок требует создания новых, более рациональных конструкций станций метрополитена, которые являются особенно сложной и ответственной частью комплекса подземных городских сооружений. Стремление уменьшить неравномерность и напряженность пассажирских перевозок, поиски путей снижения материалоемкости и стоимости станционных сооружений, а также некоторые другие факторы определили многообразие конструктивных и планировочных решений станций метрополитенов. Предлагается новая технология и конструкция, которые по своим технико-экономическим показателям превосходят существующие и сооружаемые станции метрополитена глубокого заложения.

В настоящей статье предлагается к рассмотрению принципиально новый тип станции метрополитена глубокого заложения, а именно двухсводчатая станция с общей опорой верхних и обратных сводов (рис. 1).

В последнее время получила широкое распространение конструкция подземной односводчатой станции с опиранием сборного свода на массивные пятовые опоры и с устройством островной платформы. Наряду с определенными технологическими и эксплуатационными достоинствами односводчатая конструкция имеет и ряд недостатков, одним из которых является относительно малый коэффициент использования подземной выработки (малое отношение полезного объема станции к объему разработанного грунта). С точки зрения статической работы такой станции ее особенностями являются большие пролеты верхнего и обратного сводов. Для уменьшения изгибающих моментов в сводах они выполняются шарнирными с обжатием на породу. Расположение путей вблизи опор приводит к тому, что опоры постоянно испытывают вредное влияние вибрации от проходящих поездов. Передаваемое при этом на грунт динамическое

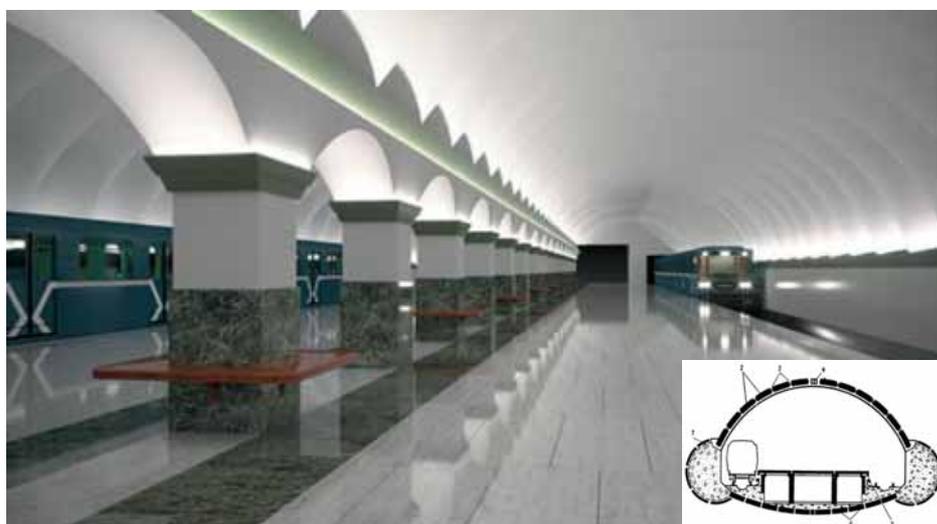


Рис. 1. Двухсводчатая станция с общей опорой верхних и обратных сводов

воздействие способствует росту усадок и накоплению повреждений отделки, а именно: образуются трещины на пятовых опорах и деформации на обратном своде из-за возникающих крутящих моментов на пятовые опоры (о чем свидетельствует опыт эксплуатации данного типа станций на Санкт-Петербургском метрополитене).

Двухсводчатая станция в объеме односводчатой станции метрополитена глубокого заложения имеет одинаковую ширину 25 м, ширина платформ рассматриваемой двухсводчатой станции равна 15,04 м (рис. 2), тогда как ширина платформы типовой станции – всего 11,7 м (рис. 3). В этом случае платформа увеличивается на 20 %, что спо-

Рис. 2. Основные элементы двухсводчатой станции (вариант с островной платформой): 1 – верхние своды; 2 – обратные своды; 3 – боковые опоры; 4 – опорные элементы; 5 – сборно-монолитная аркада; 6 – нижний ригель; 7 – фундамент аркады; 8 – платформа

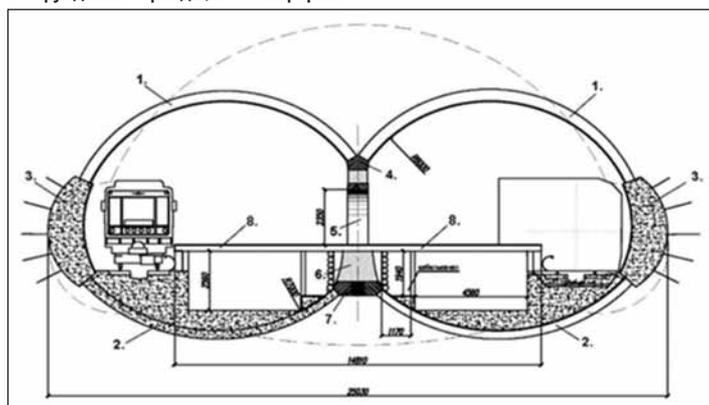
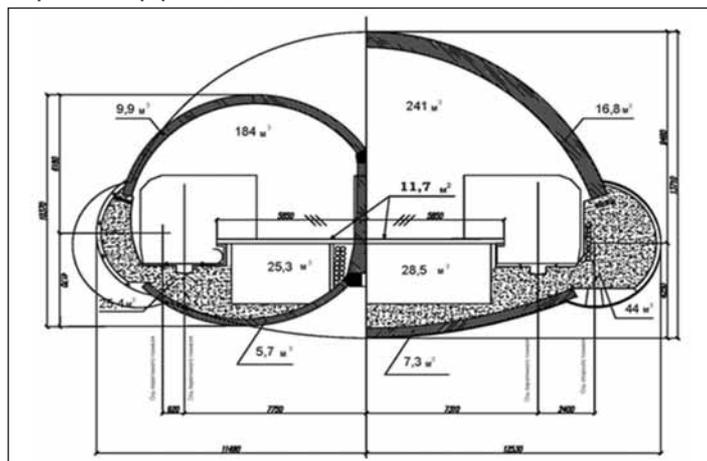


Рис. 3. Сравнение односводчатой и двухсводчатой станций, ширина пассажирской платформы 11,7 м



Сравнение физических объемов на 1 п. м при одинаковой ширине платформы 11,7 м односводчатой и двухсводчатой станций

Таблица

Наименование материалов и конструкции	Ширина пассажирской платформы 11,7 м		Экономия	
	Односводчатая станция	Двухсводчатая станция	Разница	%
Объем разрабатываемой породы, м ³	245,0	184	61,0	24,9
Монолитный бетон, м ³	44,0	25,4	18,6	42,3
Сборный железобетон, м ³	30,0	24,5	5,5	18,3
Расстояние между осями опорного и перегонного тоннелей, м	2,4	1,4	1,0	42,6

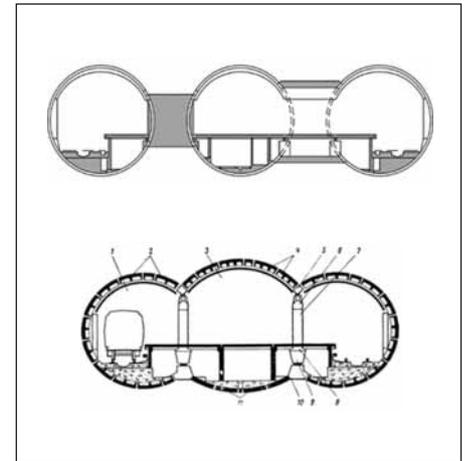


Рис. 4. Трёхсводчатая станция

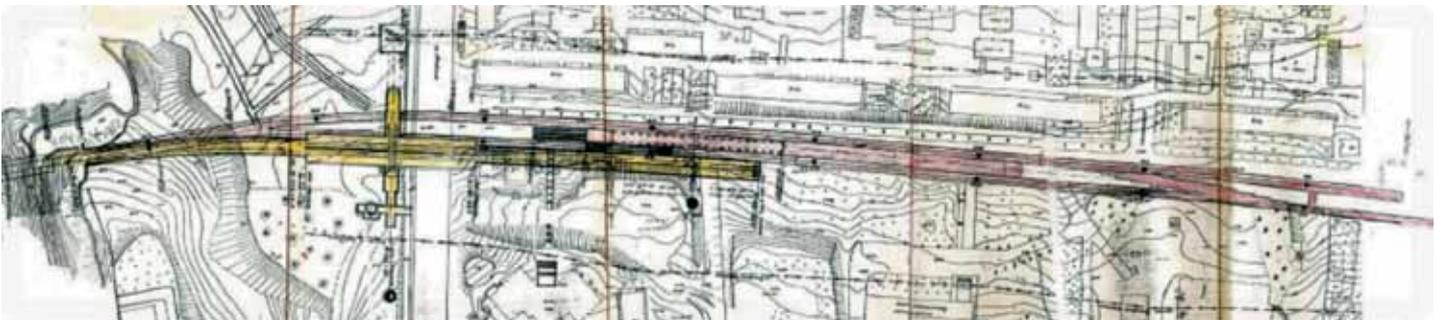


Рис. 5. Трасса пускового комплекса станции «Ачапняк» (правый берег), г. Ереван

способствует увеличению пассажиропотока и комфортности.

Из таблицы видно, что односводчатая станция метрополитена имеет физические объемы 1-го п. м на 30 % больше, чем предлагаемая станция.

Известны также конструкции трехсводчатых станций колонного и пилонного типа, применяемые на линиях отечественных метрополитенов. Эти станции отличаются значительным расходом материалов, трудоемкостью строительных работ и долгом сроком по сравнению с двухсводчатой станцией метрополитена (рис. 4).

В трехсводчатой станции колонного или пилонного типа опоры располагаются близко от края платформы, что создает неудобство для пассажиров во время посадки и высадки, не исключены встречные пассажиропотоки.

В 1998 г. проект двухсводчатой станции участвовал на тендере Ереванского метрополитена при проектировании (ТЭО) станции метро и перегонного тоннеля в районе правобережной линии «Ачапняк» в г. Ереване (рис. 5). На конкурс всего было представлено четыре проекта. Задачей государственной комиссии было определить лучший проект из предлагаемых вариантов, и после изучения выбрали мой проект двухсводчатой станции метрополитена.

Пояснения: 1 (выделено красным цветом) – трёхсводчатая станция колонного типа, островная платформа L-105 м, проходка горным способом, перегонные тоннели однопутные. Длина строительного комплекса составляет 887,8 м; 2 (выделено желтым цветом) – двухсводчатая станция, боковая платформа L-105 м, проходка горным способом, перегонные тоннели предусмотрены одно-

путные, а камера съезда – двухпутный тоннель. Длина строительного комплекса составляет 402,5 м.

Конкретно на примере видно, что принятие инженерной мысли и технологии дало колоссальный результат в экономии более 50 %: подземного сооружения, строительных материалов, машин и механизмов, трудозатрат, также сокращены сроки строительства.

Благодаря принятой новой конструкции двухсводчатой станции опорные колонны находятся в центре станции, и своды одинакового радиуса сопрягаются на ригелях. В этом случае нагрузка горного давления через свод передается на боковые стены (опоры) и общую несущую опору равномерно с двух сторон.

Конструкция станции позволяет в зависимости от задач установить платформы: островные (см. рис. 2), боковые (рис. 6) и смешанные: две боковых и одна островная (рис. 7).

Рис. 6. Вариант с боковыми платформами

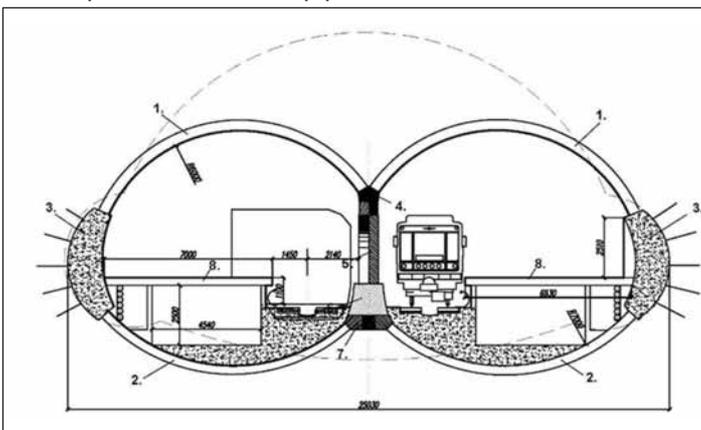
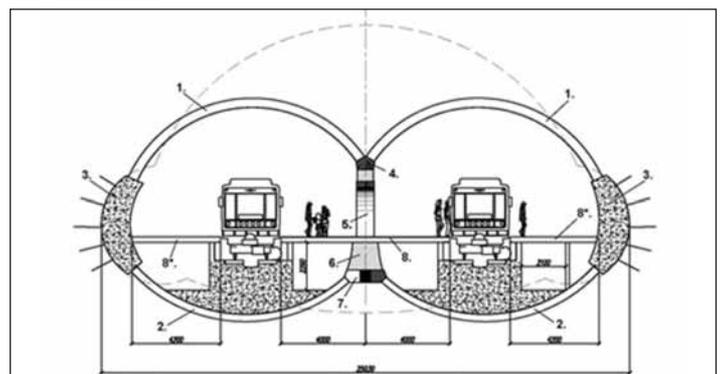


Рис. 7. Вариант с двумя боковыми платформами и одной островной. Двухсводчатая станция в объеме односводчатой станции метрополитена глубокого заложения



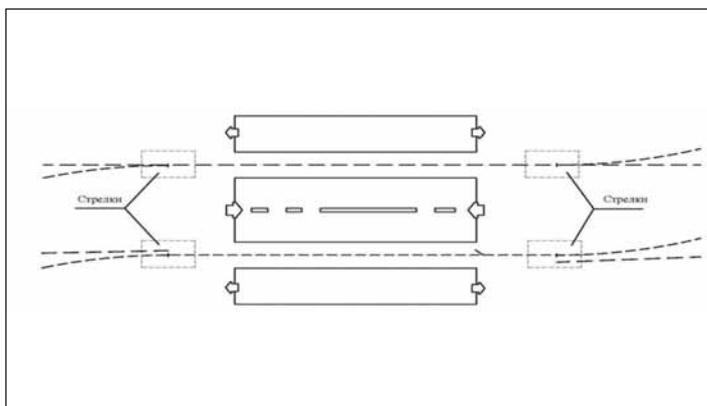


Рис. 8. Схема пересадочной станции метрополитена

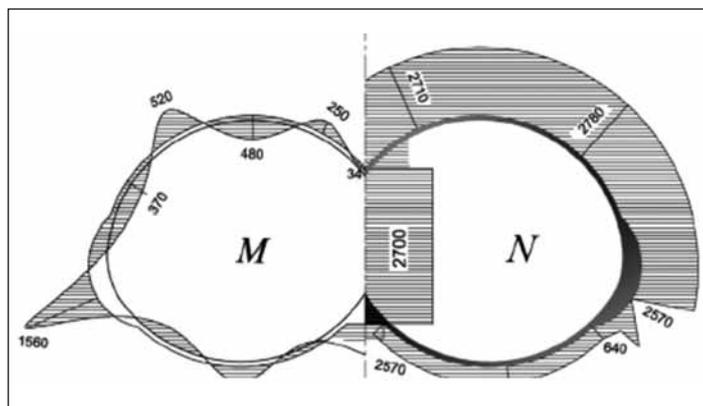


Рис. 9. Эпюры изгибающих моментов и нормальных сил в сечениях обделки

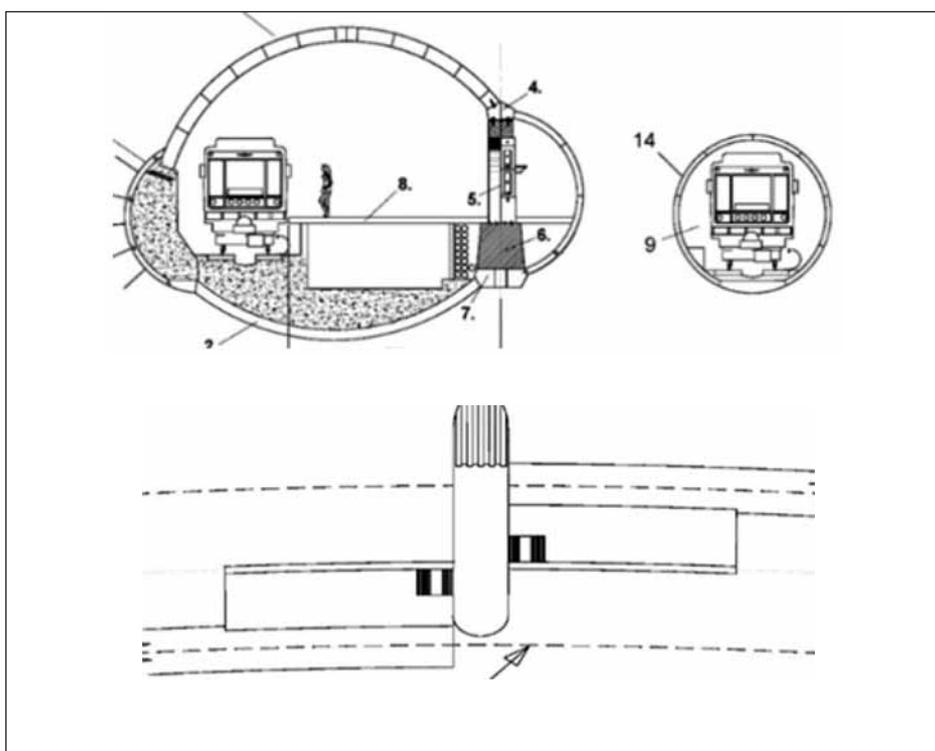


Рис. 10. Станция глубокого заложения на криволинейных путях

Этот вариант (с боковыми платформами) становится очень удобным и экономичным, когда применяешь его на конечной станции метрополитена, и когда перегонный тоннель построен как двухпутный.

Для станции с двумя боковыми платформами и одной островной (см. рис. 7) конструкция позволяет соорудить трёхплатформенную станцию, которая исключает встречные пассажиропотоки (вход/выход) и обеспечивает увеличение комфортности для пассажиров. Кроме того, увеличивается частота курсирования поездов, так как на вход и выход пассажиров требуется меньше времени. В этом варианте совокупная ширина платформ составит 16,4 м.

Данный вариант можно применять в качестве пересадочной (узловой) станции в метрополитенах (рис. 8), где на двух линиях частота движения поездов не превышает 40 пар поездов в час. В этом случае экономичен целый станционный комплекс.

Наличие трех фундаментов – пятовые опоры и фундамент опорной аркады по-

зволяет более эффективно (равномерно и на большую площадь) распределять горное давление. Система внутренних, несущих конструкций представлена сборной – монолитной аркадой, которую можно монтировать из тубинговой обделки диаметром 5,1 м. При этом наличие двух отдельных станционных тоннелей, эксплуатирующихся самостоятельно, позволяет среднюю опору выполнять сплошной несущей стеной с оставлением местами арок – проемов.

Для проверки прочности и надежности конструкции станции в ПГУПС (Санкт-Петербург) в условиях галечно-гравелистого грунта был выполнен расчет на ЭВМ СМ-1420 по стандартной программе РК-6. Программа реализует метод перемещений для расчетной схемы обделки кусочно-линейного очертания с односторонне работающими упругими связями в местах перехода профиля.

Учитывалась нагрузка от галечно-гравелистого грунта с коэффициентом крепости

$f = 1,5$. При заложении станции на глубине 15 м (от верха свода до дневной поверхности) интенсивность расчетной вертикальной нагрузки на обделку составила 430 кПа. Коэффициент упругого отпора породы принят равным 15 кПа.

На рис. 9 представлены полученные в результате расчета эпюры изгибающих моментов и нормальных сил в сечениях обделки. Максимальный момент в своде равен 520 кН/м, что при нормальной сжимающей силе 2700 кН/м позволяет принять толщину свода равной всего 40 см при весьма умеренном (в сравнении с аналогичной односводчатой станцией, которая применяется в Санкт-Петербургском метрополитене в грунтах крепостью породы $f = 3$, кембрийские глины, толщина свода которой 70 см и более) армировании: четыре стержня диаметром 25 мм из стали класса А3 на 1 п. м тоннеля. В обратном своде изгибающие моменты практически отсутствуют (этот свод армируется конструктивно).

Максимальная усадка (под пятовой опорой) составила 1 см, а опускание шельги верхнего свода 0,8 см, что существенно меньше, чем в односводчатой конструкции.

Применение двухсводчатой станции метрополитена даёт возможность построить станцию глубокого заложения на криволинейных путях (рис. 10). Также мы можем применять удлиненный вид станции, который позволяет равномерно распределить горное давление и пагубное влияние осадки городских построек, охраняемых ГИОП.

Применение двухсводчатой станции позволяет оптимизировать пассажиропоток, обеспечить долгосрочную и безопасную эксплуатацию на участках метрополитена, подходит для размещения на множестве подземных участков вне зависимости от внешних условий, имеет удобную конструкцию, а также обладает такими свойствами, как компактность и многофункциональность, что в целом позволяет значительно сократить затраты на реализацию данного проекта.

Для связи с автором

Давтян Никол Григорьевич
nikol-davtyan@yandex.ru



ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТОННЕЛЬ НА 106–107 КМ УЧАСТКА АРТЫШТА – ТОМУСИНСКАЯ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

RAILWAY TUNNEL ON 106–107 KM OF THE ARTYSHTA – TOMUSINSKAYA SECTION OF THE WEST SIBERIAN RAILWAY

В. Г. Лозин, ООО ПИИ «Бамтоннельпроект»

В. И. Карасев, ДКРС-Хабаровск ОАО «РЖД»

V. G. Lozin, LLC FDI «Bamtonnelproekt»

V. I. Karasev, DKRS-Khabarovsk JSC «RZD»

На Западно-Сибирской железной дороге введен в эксплуатацию один из самых современных железнодорожных тоннелей сети ОАО «РЖД». Строительство тоннеля обусловлено возросшими объемами добычи угля в Кузбасском регионе и его транспортировки по железным дорогам страны. Это наиболее значимый инвестиционный проект в железнодорожную инфраструктуру региона за последние годы. Объем инвестиций составил более 6 млрд руб.

On the West-Siberian Railway, one of the most modern railway tunnels of the Russian Railways network was put into operation. The construction of the tunnel is due to the increased volume of coal production in the Kuzbass region and its transportation by the country's railways. This is the most significant investment project in the railway infrastructure of the region in recent years. The volume of investments amounted to more than 6 billion rubles.

На Западно-Сибирской железной дороге институтом «Сибгипротранспуть» с привлечением субподрядных проектных организаций ООО ПИИ «Бамтоннельпроект» и ОАО «Сибгипротранс» запроектирован, а генеральным подрядчиком строительства – АО «СТРОЙ-ТРЕСТ» построен один из самых современных железнодорожных тоннелей сети ОАО «РЖД» рядом со старым, построенным в 1963–1967 гг., однопутным тоннелем длиной 1157,87 м.

Существующий железнодорожный тоннель расположен в Кемеровской области в 30–35 км северо-восточнее г. Новокузнецк, на однопутном участке (на I пути) перегона Курегеш – Карлык, являющегося частью железнодорожной линии Артышта – Томусинская, соединяющей Южно-Сибирскую магистраль и южные районы Кузбасса с западными участками железнодорожной сети России в обход Новокузнецкого железнодорожного узла.

Существующий тоннель – однопутный, длиной 1157,87 м, построен в 1963–1967 гг. по габариту приближения строений «С», под один путь колеи 1520 мм.

Тоннель пересекает хребет Осиновая Гора – водораздел между р. Есаулка и Абашева, в его самом узком месте. Максимальная глубина заложения тоннеля – 90 м.

По результатам обследований в 2008 и 2010 г. технического состояния обделки тоннеля, дренажных и водоотводных устройств обнаружена низкая эксплуатационная надежность тоннеля с интенсивным развитием деградиционных процессов в его конструкциях и обустройствах.

В связи с этим ОАО «РЖД» в 2011 г. было принято решение о необходимости реконструкции объекта, включающего:

- строительство нового однопутного тоннеля II пути, расположенного в 30-ти метрах (в осях) южнее существующего тоннеля;
- строительство многофункциональной (сервисной эвакуационно-дренажно-вентиляционной) штольни, расположенной между тоннелями;
- консервацию существующего тоннеля I пути и существующей тупиковой штольни;
- переустройство железнодорожного пути на границе участка проектирования II главного пути (в пределах ПК 1039+50 ПК 1071+00), с реконструкцией и строительством искусственных сооружений на железнодорожных подходах;
- реконструкцию устройств ЭЦ станции Курегеш;
- переустройство СЦБ и контактной сети;
- переустройство объектов ВОХР;
- устройство надтоннельных водоотводов.

Строительные площадки располагались в непосредственной близости от границ отведенных земель с действующей железнодорожной линией (I пути) участка Артышта – Томусинская Западно-Сибирской ж. д. Выше перечисленное обстоятельство принималось в расчет при разработке проекта организации строительства с необходимым выполнением следующего комплекса мероприятий:

- устройство временных автодорог и подъездов к строительным площадкам;
- устройство источников водоснабжения для бесперебойного функционирования

строительных площадок и подземных выработок на весь период ведения строительных и монтажных работ в соответствии с техническими условиями;

- устройство временных сетей электропитания на период реконструкции тоннеля, в соответствии с выданными техническими условиями;
- доработка подходов выемок со стороны Западного и Восточного порталов проектируемого тоннеля (II пути) и сервисной штольни, сооружение подпорных стен;
- устройство расчетного крепления откосов, а также стен свайного ограждения в припортальных выемках со стороны существующего тоннеля;
- организация мониторинга за подвижками земной поверхности, в зоне эксплуатируемых сооружений и зоне ведения строительных работ.

Строительство нового тоннеля и сервисной штольни

Инженерно-геологические условия строительства тоннеля и штольни относятся к I группе сложности по инженерно-геологическим условиям.

Горный массив, пересекаемый горными выработками, сложен коренными породами верхнепермского возраста, представленными угленосным флишем (алевролиты с прослоями песчаников, аргиллитов и углей), коэффициент крепости по шкале Протодяконова $f = 1,5–4,0$.

Проектируемый тоннель протяженностью 1157,96 м имеет односкатный профиль с ук-



Рис. 1. Механизированная разработка породы



Рис. 2. Сбойка тоннеля



Рис. 3. Установка гидроизоляции и арматуры

Рис. 4. Комплекс работ по устройству верхнего строения в тоннеле



лоном $i = 5,2 \text{ ‰}$ к западному порталу.

Штольня располагается слева от проектируемого тоннеля с привязкой в осях 16 м. Привязка уровня головки рельса штольни к уровню головки рельса тоннеля – 2 м. Протяженность штольни – 1157,96 м.

В плане трассы тоннеля и штольни находятся на прямой.

Внутреннее очертание тоннельной обделки назначено с учётом размещения габарита приближения стро-

ений «С» для прямых участков электрифицированных железных дорог с контактной подвеской с несущим тросом, а также с учётом размещения за пределами габарита приближения строений.

Поперечное очертание сборной железобетонной обделки штольни предусматривает размещение в его пределах габарита эвакуационного прохода, водоотводного лотка, сантехнического, электротехнического оборудования и коммуникаций.

Строительно-монтажные работы при сооружении нового тоннеля и сервисной штольни велись с использованием набора высокотехнологичной горнопроходческой техники.

В соответствии с инженерно-геологическими, горнотехническими и гидрогеологическими условиями проходка нового тоннеля осуществлялась уступным способом с использованием проходческих комбайнов МТ520, проходка сервисной штольни – тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) «Lovat» RMP167SE.

Проходка тоннеля и штольни (подземная часть) начата 14 сентября 2012 г.

Строительство тоннеля и штольни сопровождалось предварительным выполнением комплекса укрепительных мероприятий, включающих применение специальных способов и видов работ. Мероприятия выполнялись с целью обеспечения общей устойчивости как откосов выемок и стен котлованов на припортальных участках проектируемых подземных выработок, так и горного массива под землей в течение всего периода горно-капитальных работ.

В состав основного периода строительства тоннеля входили следующие виды работ (в порядке очередности выполнения):

- разработка выемок для врезки тоннеля и штольни со стороны Западного и Восточного порталов с устройством крепления откосов (анкеров, металлической сетки и набрызг-бетона) и вертикальных стен котлованов (из буронабивных свай и набрызг-бетона);

- устройство опережающих защитных экранов из труб над врезными участками тоннеля и сервисной штольни;

- поэтапное сооружение (соответственно по калотте и штрассе) оголовков тоннеля со стороны Западного и Восточного порталов тоннеля.

В состав основного периода строительства сервисной штольни входили:

- устройство на участке припортальной выемки со стороны Западного портала стартовой камеры, железобетонного ложа для монтажа щитового комплекса ТПМК типа «Lovat» RMP167 SE;

- монтаж ТПМК и технологических тележек захвостового комплекса щита;

- передвижка ТПМК в стартовую камеру, монтаж конструкций упора для врезки и последующей проходки сервисной штольни.

При проходке тоннеля и сервисной штольни в интервалах трассы, характеризу-

ющихся наличием уголеносного флиша, прогнозировалось в различной степени газовыделение метана, в связи с чем выработки переводились на газовый режим. Проектом предусматривалось оснащение подземных выработок комплектом газоаналитического оборудования (КГО) по КР-1835/1 и КР-1835/2. Объектами контроля и управления, оценки и прогноза КГО являлась рудничная атмосфера горных выработок. Комплект газоаналитического оборудования обеспечивал безопасную эксплуатацию подземных выработок.

При проходке нового тоннеля по трассе его максимальное сечение составляло 75 м². В качестве временной крепи использовалась арочная крепь из балок I № 30/ I № 24. Установка арки в проектное положение осуществлялась аркоустановщиком типа «Нимес 9915ВА». Проходка велась с обоих порталов встречными забоями. После сбойки тоннеля производилась доработка нижней части сечения тоннеля. Величина заходки составляла 1 м (рис. 1).

В ноябре 2013 г. произошла сбойка по тоннелю при проходке верхней его части (рис. 2).

На пройденных участках по своду и стенам выработки производилась установка двухслойной гидроизоляции и арматуры постоянной обделки (рис. 3).

Для механизированной укладки бетона при возведении постоянной обделки тоннеля использовались стальные передвижные опалубки «Сага-Когно». Укладка бетона за опалубку велась стационарными бетононасосами типа «BSA 1002-E-Multi» фирмы «Putzmeister» производительностью 22 м³/ч.

Комплекс работ по устройству постоянной обделки в тоннеле

Для обеспечения стабильности железнодорожного пути, уменьшения расходов на его текущее содержание проектом предусмотрено сооружение безбалластного верхнего строения пути (ВСП) на малогабаритных железобетонных рамах МГР-Т4М-1520 (с шириной колеи 1520 мм) с рельсовым скреплением типа ЖБР-65ПШМ (рис. 4). Для плавного изменения жесткости верхнего строения пути на подходах к тоннелю выполнены участки пути переменной жесткости на щебеночном балласте. Для гашения вибраций в тоннеле в основании ВСП уложены демпферные маты Datwyler.

Железнодорожный тоннель оснащен автоматизированной системой управления технологическими процессами (АСУ ТП). Целью создания системы является автоматическое управление следующим инженерно-техническим оборудованием:

- система аварийной вентиляции для защиты путей эвакуации (сбойки) во время пожара в тоннеле;
- противодымная вентиляция в тоннеле (удаление дыма через портал);

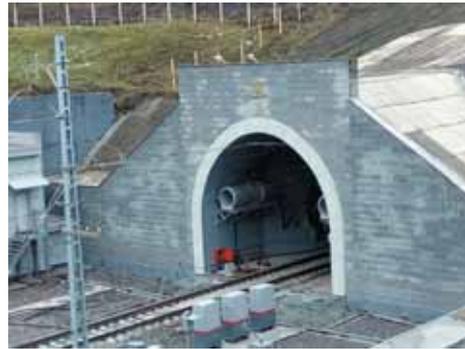
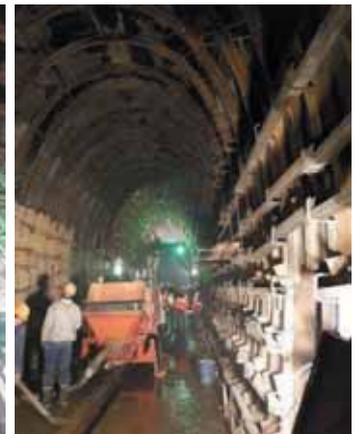


Рис. 5. Подготовка объекта к сдаче в постоянную эксплуатацию



Рис. 6. Консервация тоннеля. Усиление обделки



- система вентиляции штольни и сбоек (периодическое проветривание);
- система газоаналитического оборудования;
- система обогрева лотков, электрооборудования.

Также в тоннеле предусмотрены системы автоматического пожаротушения (АПС) и видеонаблюдения. Они входят в общую систему автоматического управления (АСУ ТП).

После открытия рабочего движения по новому железнодорожному тоннелю (рис. 5), которое состоялось 26 сентября 2017 г., начаты работы по консервации существующего тоннеля.

Консервация существующего тоннеля

В составе комплекса мероприятий по консервации существующего тоннеля (рис. 6) до момента реконструкции выполнялся следующий минимальный комплекс работ (согласно ПБ 03-428-02):

- демонтаж внутренних конструкций электроснабжения, контактной сети;
- демонтаж рельсошпальной решетки, щебеночного балластного слоя ВПС, внутритоннельных водоотводных лотков;
- планировка основания тоннеля с подсыпкой щебеночного слоя под устройство покрытия из черного бетона с центральным водоотводным лотком;
- мероприятия по усилению монолитной бетонной обделки. Для усиления обделки принята расчетная конструкция крепи, состоящая из арок двутавровых № 20 (с шагом 1 м), устанавливаемых на железобетонных анкерах по периметру внутреннего контура обделки, с покрытием металлоконструкций

крепи слоем монолитного бетона класса В25. Длина участка усиления 150 м от Восточного портала;

- монтаж съемных перекрытий центрального водоотводного лотка из металлических крышек;
- монтаж металлических перегородок с одностворчатыми воротами для пропуска транспортных средств и дверями для прохода людей на порталных входах в тоннель;
- монтаж системы вентиляции для проветривания тоннеля;
- монтаж в тоннеле дежурного освещения на период консервации сооружения.

С открытием движения постоянного движения поездов по новому тоннелю отменено действующее до настоящего времени ограничение скорости движения поездов 40 км/ч, тем самым ликвидировано «узкое место» на линии Артышта – Томусинская, соединяющей Южно-Сибирскую магистраль и южные районы Кузбасса с западными участками железнодорожной сети России в обход Новокузнецкого железнодорожного узла. Поезда по участку Курегеш – Карлык будут следовать со скоростью до 100 км/ч, что позволяет значительно повысить пропускную способность участка железной дороги.

Ключевые слова

Тоннель, штольня.
Tunnel, stollen.

Для связи с автором

Лозин Владислав Геннадьевич
Карасев Владимир Иванович
lozin_vg@btp-nsk.ru



ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ НАПЫЛЯЕМОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

А. К. Нефедьева, А. П. Нефедьев, М. И. Баженов, А. В. Сенчев, ООО «Синерго»

При возведении новых геотехнических сооружений, а также ремонте эксплуатируемых объектов, таких как железнодорожные и автомобильные тоннели, тоннели метрополитена и другие подземные железобетонные конструкции транспортной инфраструктуры, необходимо проводить защитные гидроизоляционные мероприятия.

Наиболее производительным и технологичным методом гидроизоляции подземных железобетонных сооружений является технология напыляемой гидроизоляции, использование которой в большинстве случаев оправдано в силу ряда причин:

- высокая производительность труда и скорость монтажа гидроизоляционной мембраны;
- отсутствие рабочих, монтажных и иных швов (сплошность мембраны);
- превосходные эксплуатационные показатели материала;
- низкая пожароопасность;
- возможность монтажа на плохо подготовленную поверхность.

Напыляемая этилен-винил-ацетатная гидроизоляция (EVA) – это эластичная гидроизоляционная мембрана, наносимая методом распыления на бетонные поверхности. Мембрана после полимеризации и набора нормативных свойств обладает превосходными показателями по адгезии, прочности, твердости, водонепроницаемости и эластичности, что выгодно отличает ее от материалов на битумно-полимерной основе.

Для рынка России до последнего времени было характерным использование большого количества высококачественных высокотехнологичных материалов, которые производились за рубежом, в основном в Европе, Китае и США. На сегодняшний день в силу объективных причин и быстро ме-



Таблица 1

Технические характеристики мембраны «СиноСил200»

Показатели	СиноСил 200	
	Безосновный	На полимерной основе
Условная прочность, МПа	4	Не нормируется
Разрывная сила, кН	Не нормируется	1600
Водонепроницаемость при гидростатическом давлении, МПа, не менее	0,3	0,3
Относительное удлинение при разрыве, %	150	47
Адгезия к бетону (в возрасте 28 суток), МПа		
- первичная	1,0 ± 0,2	-
- вторичная	1,0 ± 0,2	1,0 ± 0,2



Таблица 2

Результаты определения свойств мембраны «СиноСил 200» на опытном участке

Опытный участок	Тип основания	Показатель адгезии (в возрасте), МПа		Показатель твердости по Шору (в возрасте), ед		Показатель толщины, мм	Примечание
		Требования СТО	Измеренный показатель	Требования СТО	Измеренный показатель		
ПК 75+05,00 – 75+12,00	бетон	0,2 (24 часа)	0,2 (24 часа)	30 (24 часа)	50 (24 часа)	4	Соответствует СТО
ПК 75+05,00 – 75+12,00	бетон	1 (10 сут)	1,2 (10 сут)	75-85 (10 сут)	80 (10 сут)	4	Соответствует СТО



няющейся рыночной обстановки доступность таких материалов уменьшается. Вместе с тем передовые отечественные производители аналогичных материалов прилагают беспрецедентные усилия для реализации возможности производства высококачественных технологичных и эффективных материалов на территории России и из отечественного сырья.

Так специалистами компании «Синерго» была разработана эластичная гидроизоляционная мембрана «СиноСил 200», не уступающая, а во многом превосходящая по качеству и свойствам зарубежные аналоги.

Основные области применения мембраны – это гидроизоляция подземных выработок, имеющих сложное геометрическое строение, использование в качестве замены традиционным напыляемым гидроизоляционным материалам, в качестве промежуточного адгезионного слоя для защиты конструкции с использованием технологии торкретирования.

Технология гидроизоляции с применением напыляемой мембраны имеет следующие преимущества:

- высокий уровень адгезии к бетону и другим поверхностям (синтетическим, а также природным строительным материалам);
- высокая эластичность мембраны;
- отсутствие токсичных соединений;
- простота в применении и нанесении на поверхность;
- высокая пожароустойчивость.

Основные технические характеристики мембраны «СиноСил 200» приведены в табл. 1.

Испытание мембраны «СиноСил 200» было проведено в рамках опытно-промышленных испытаний (ОПИ) на объекте «Автомобильная дорога общего пользования регионального значения Республики Башкортостан – новый выезд из г. Уфы на автомобильную дорогу федерального значения М-5 «Урал» (Восточный выезд)», как альтернатива мембране производства известной немецкой компании.

Гидроизоляционная мембрана наносилась на железобетонную конструкцию по технологии сухого торкретирования. При этом программой испытаний были предусмотрены работы по определению «дополнительных» параметров материала при возникновении «непроектных» ситуаций, в частности, нанесение на плохо подготовленную, переувлажненную или загрязненную поверхность, поверхность сложной геометрии, переход от пластиковых, металлических и иных типов поверхностей на поверхность бетона, твердение в условиях пониженных температур. В ходе испытаний определялись все нормируемые эксплуатационные параметры материала в разном возрасте (табл. 2).

Как видно из таблицы, все значимые для технологии гидроизоляции напылением параметры материала и мембраны на его основе соответствуют требованиям проектной и нормативной документации.

Интенсивная работа передовых отечественных компаний индустрии производства строительных материалов позволяет с оптимизмом смотреть на ближайшие пер-

спективы, связанные с реализацией амбициозных инфраструктурных проектов на территории России. А применение высокотехнологичной и эффективной напыляемой гидроизоляции на основе EVA-мембраны «СиноСил 200», произведенной российской компанией «Синерго» из отечественного сырья, гарантирует стабильность и качественный результат на весь предполагаемый период эксплуатации возводимых сооружений.

Список литературы

1. СНиП 3.04.01-87. *Изоляционные и защитные покрытия.*
2. ВСН 104-93. *Нормы по проектированию и устройству гидроизоляции тоннелей метрополитенов, сооружаемых открытым способом.*
3. СТО 34556001-016-2019 *Гидроизоляционная мембрана «СиноСил 200».*
4. ОДМ 2183.045-2015. *Рекомендации по устройству бесшовной напыляемой мостовой гидроизоляции из композиционных материалов на железобетонных и стальных ортотропных плитах пролетных строений мостовых сооружений, а также на других строительных конструкциях из стали и железобетона. Росавтодор.*

Для связи с авторами

Нефедьева Анастасия Константиновна
info@metakaolin.ru
Нефедьев Алексей Павлович
nar@metakaolin.ru
Баженов Марат Ильдарович
bajenov.m@gmail.com



ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЛЮДЕЙ НА СТАНЦИЯХ МЕТРОПОЛИТЕНА МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ

А. И. Данилов, ООО «Центр исследований опасных факторов пожаров»
В. П. Чижиков, к. т. н., ООО «Центр исследований опасных факторов пожаров»

При проведении инженерного анализа по оценке условий безопасной эвакуации пассажиров и персонала из подземных сооружений метрополитена исходными данными для проведения расчетов являются такие основные параметры, как количество пассажиров и персонала на станции в часы пик, максимальное количество пассажиров, находящихся в поезде и объемно-планировочные решения пассажирской зоны и служебных помещений станционного комплекса. Единственным источником исходных данных для определения количества людей, необходимого для расчетов условий безопасной эвакуации пассажиров и персонала, являются пп. 5.2.3, 5.2.4, 5.2.5, 5.16.6.17 [1]. Но сведения, содержащиеся в указанном документе, приведены в различных разделах и не дают возможности однозначно определить количество пассажиров и персонала, находящихся на станции в конкретный момент времени. Как следствие, подобная ситуация приводит к серьезным проблемам при обосновании достоверности исходных данных для расчетов времени эвакуации людей, в большинстве случаев, к принятию необоснованно завышенных значений по количеству людей на станции.

Целью исследований является разработка модели эксплуатационного режима

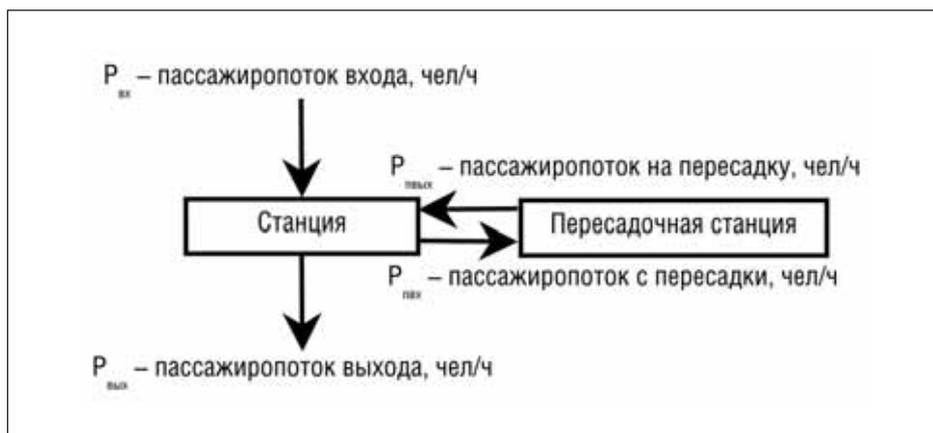


Рис. 1. Схема пассажиропотоков станционного комплекса

функционирования станции метрополитена при максимальных пассажиропотоках в часы пик, позволяющей определить количество людей, находящихся на всех элементах пассажирской зоны в пределах станционного комплекса.

В качестве исходных данных принимались следующие характеристики объекта:

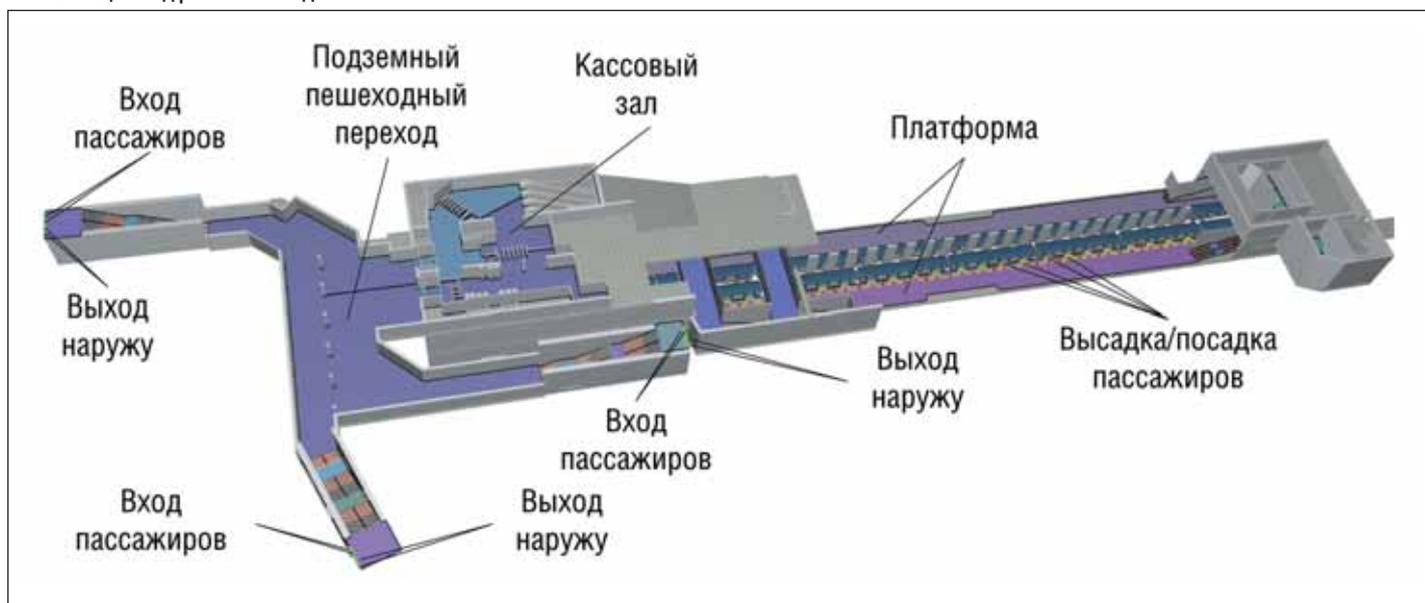
- пассажиропоток входа на станцию;
- пассажиропоток выхода из станции;
- пассажиропотоки пересадки;
- значения пассажиропотоков принимаются для часа пик с учетом коэффициента неравномерности для конкретного типа станции;

- количество пассажиров в составе принимается по максимальной наполняемости для используемого типа подвижного состава;

- интервал попутного следования поездов (количество пар поездов в час);

- принимается следующее распределение пассажиров и персонала по группам мобильности: пассажиры – группа мобильности М1 (зимний период), М2, М3, М4 (количество людей МГН определяется положениями [1] или специальных технических условий), персонал – мобильности М1 (летний период);

Рис. 2. Общий вид расчетной модели



• объемно-планировочные решения, учитывающие особенности каждой конкретной станции.

Определение зависимости количества людей на станции от времени проводилось на основании численного моделирования с использованием программного средства Pathfinder компании Thunderhead Engineering (версия 2020.4.0902×64) [2]. Последние версии программы были дополнены элементами, позволяющими моделировать регулируемые по количеству и интенсивности источники поступления людей и возможные варианты поведения людей, в результате чего появилась возможность адекватного воспроизведения процесса посадки и высадки пассажиров поезда. Для приведения результатов расчетов в соответствие с требованиями [3] скорость движения людей при использовании различных видов путей эвакуации (горизонтальный путь, лестницы, пандусы, эскалаторы и т. д.), варианты групп мобильности и геометрические параметры людей принимались в соответствии с рекомендациями [4]. Достоверность реализации модели подтверждена Сертификатом соответствия № РОСС RU.СП15.Н00743 и заключением Уральского института ГПС МЧС России от 30.06.2014 г.

Обобщенная схема пассажиропотоков станционного комплекса приведена на рис. 1. Вариант модели, реализующей эксплуатационный режим, представлен на рис. 2.

В модели используется следующий алгоритм распределения пассажиропотоков на станции:

• на входах станции располагаются регулируемые источники поступления людей, соответствующие параметрам пассажиропотоков входа на станцию;

• входящие в вестибюль (кассовый зал) пассажиры распределяются в заданном соотношении: часть пассажиров следует через турникеты в направлении платформ, часть пассажиров использует автоматы по продаже билетов, часть пассажиров направляется к кассам (при этом учитывается время, необходимое для проведения операций, рис. 3);

• пассажиры спускаются на платформу по лестничным сходам или эскалаторам и равномерно (или с заданным распределением) распределяются по двум платформам для ожидания прибывающего поезда;

• в момент открытия дверей прибывшего поезда производится высадка людей в соответствии с пассажиропотоками выхода (рассматривается ситуация с равномерным распределением по платформам или с заданным распределением);

• каждая дверь вагона является источником выхода пассажиров на платформу с последующим их следованием до выхода (выходов) из станции или на станцию пересадки;

• после завершения высадки происходит посадка ожидающих пассажиров в состав (рис. 4);

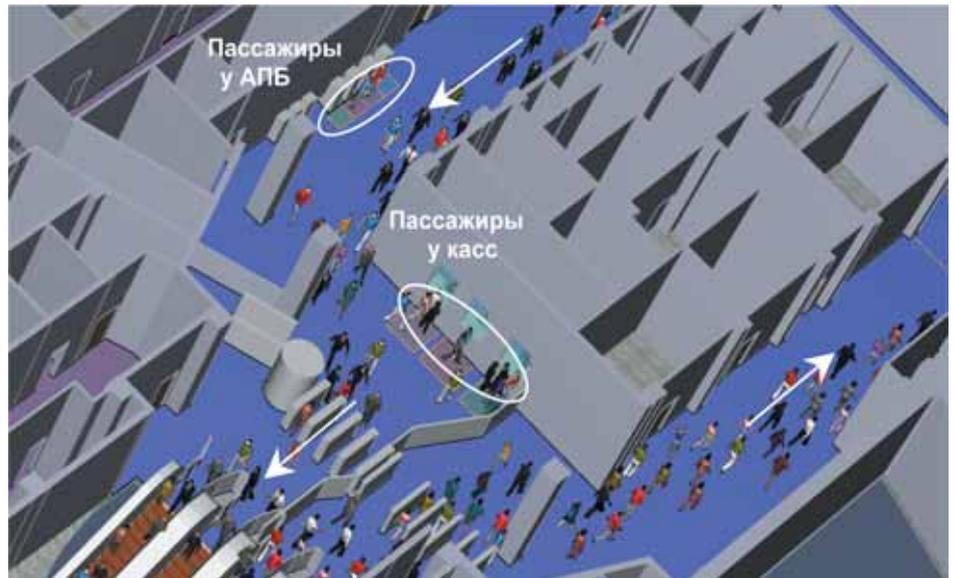


Рис. 3. Распределение пассажиров в кассовом зале

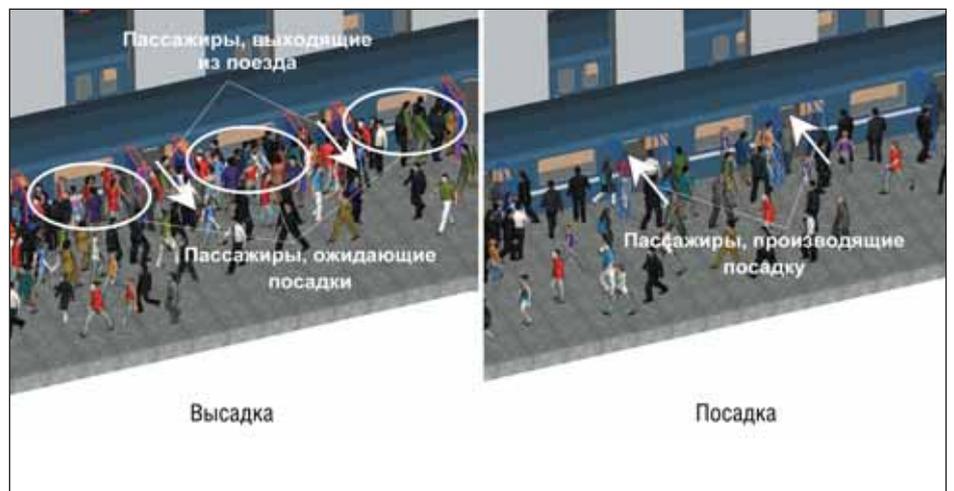


Рис. 4. Фрагмент расчетной модели

• открытие и закрытие дверей поезда осуществляется по соответствующему графику, определенному интервалом попутного следования поездов.

Суммарный пассажиропоток пассажиров, выходящих из поездов на станции, составляет:

$$N_{\text{п}} = P_{\text{вых}} + P_{\text{пвх}},$$

где $N_{\text{п}}$ – количество пассажиров, выходящих из поездов на станции, чел/ч;

$P_{\text{вых}}$ – пассажиропоток выхода из станции, чел/ч;

$P_{\text{пвх}}$ – пассажиропоток на станцию пересадки, чел/ч.

Расчет источников пассажиропотоков из прибывающих поездов проводится по следующей зависимости (количество пассажиров, выходящих из одной двери):

$$q_i = \frac{N_{\text{п}} \cdot t_{\text{в}}}{n_{\text{пар}} \cdot n_{\text{в}} \cdot n_{\text{д}} \cdot 3600}, \quad \text{чел/с}$$

где $N_{\text{п}}$ – количество пассажиров, выходящих из поезда, чел;

$n_{\text{в}}$ – количество вагонов в составе;

$n_{\text{д}}$ – количество дверей в вагоне;

$n_{\text{пар}}$ – количество пар поездов в час;

$t_{\text{в}}$ – время высадки пассажиров из вагона;

Количество пассажиров, производящих посадку на поезд:

$$N_{\text{п}} = P_{\text{вх}} + P_{\text{пвх}},$$

где $N_{\text{п}}$ – количество пассажиров, производящих посадку на станции, чел/ч;

$P_{\text{вх}}$ – пассажиропоток входа из станции, чел/ч;

$P_{\text{пвх}}$ – пассажиропоток со станции пересадки, чел/ч.

Расчет источников пассажиропотоков посадки проводится по следующей зависимости:

$$q_i = \frac{N_{\text{п}}}{3600 \cdot n_{\text{вых}}}, \quad \text{чел/с}$$

где $N_{\text{п}}$ – количество пассажиров, производящих посадку на поезд, чел;

$n_{\text{вых}}$ – количество выходов из станции.

Результатами расчета являются графики изменения количества людей на участках эвакуационного пути. На рис. 5 приведена зависимость количества людей, находящихся в станционном комплексе, от времени. На основа-

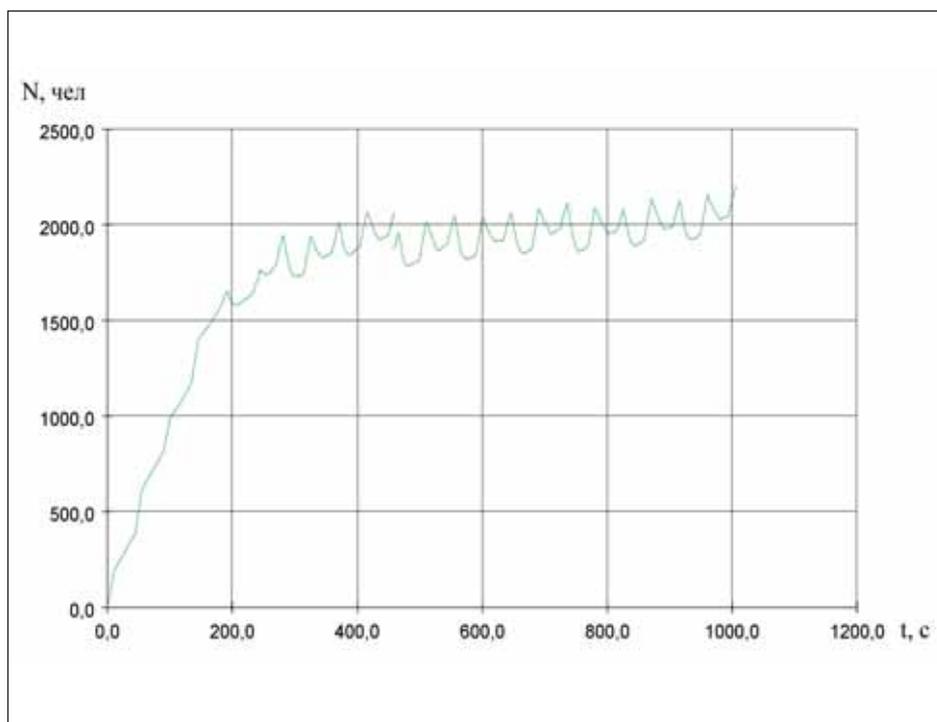


Рис. 5. Зависимость количества пассажиров на станции пересадочного узла от времени

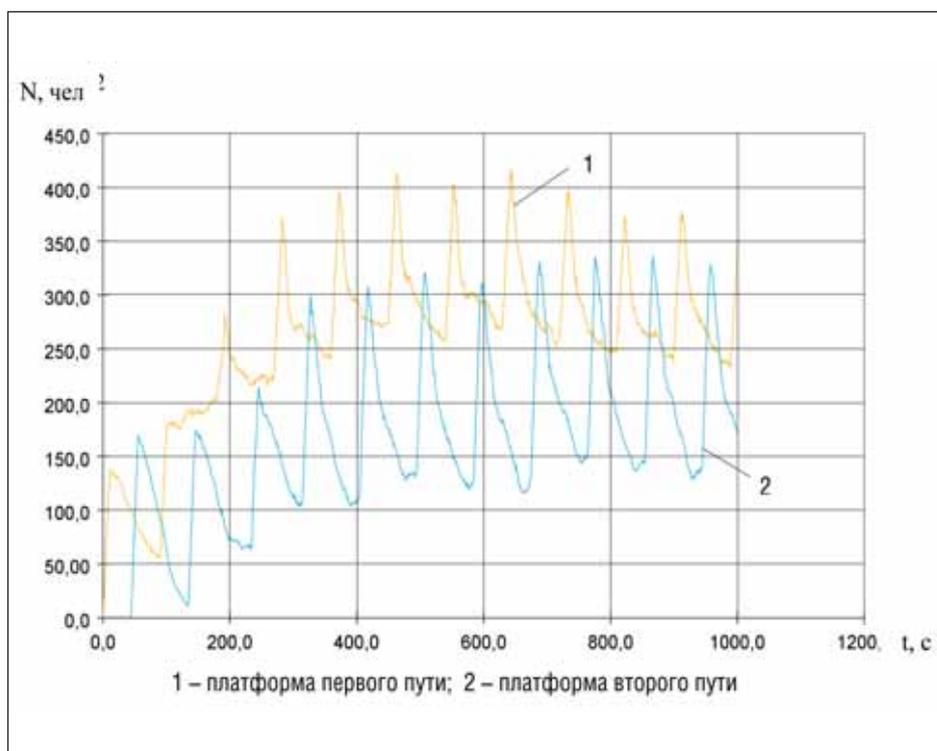


Рис. 6. Зависимость количества пассажиров на платформах станции от времени

нии результатов анализа полученных данных процесс моделирования выходит на стационарный режим к моменту времени 400–500 с. В связи с этим общее время моделирования для получения достоверных результатов принимается в диапазоне 1000–1200 с. Полученная зависимость дает возможность оценки количества пассажиров, находящихся в пределах станционного комплекса. Оценка производится по максимальным значениям.

В качестве примера на рис. 6 приводится зависимость количества людей, находящихся на платформах станции, от времени. Оценка

приведенных данных позволяет сделать вывод о том, что количество пассажиров не превысит для платформы первого пути 422 чел., для платформы второго пути – 327 чел.

Таким образом, предложенный вариант моделирования позволяет определить количество людей, находящихся на всех участках эвакуационного пути в пределах станционного комплекса.

Выводы

1. Предлагаемый вариант моделирования эксплуатационного режима функциони-

рования станций метрополитена отражает реальный процесс с учетом особенностей перемещения людей на различных участках путей движения, что также подтверждается результатами зарубежных исследований [5].

2. При расчете учитываются все основные параметры, определяющие специфику движения людей в условиях метрополитена:

- максимальные значения пассажиропотоков входа, выхода, пересадки;
- скорости движения пассажиров и персонала всех групп мобильности на различных участках эвакуационных путей;
- интервал попутного следования поездов по путям станции;
- тип подвижного состава (тип и количество вагонов, возможность сквозного прохода и т. д.).

3. Модель учитывает особенности объемно-планировочных решений конкретной станции, в том числе протяженность, площадь и конфигурацию участков путей эвакуации.

4. Расчет позволяет определить максимально возможное количество людей на любом участке путей эвакуации.

5. Представленный подход определения количества людей в сооружениях станций метрополитена методом моделирования пассажиропотоков апробирован при проектировании ряда станций Московского и Санкт-Петербургского метрополитенов и может быть рассмотрен для включения в СП 120.13330.2012 после проведения дополнительных исследований.

Список литературы

1. СП 120.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с Изменениями № 1–4).
2. Pathfinder Technical Reference Guide-Manhattan, KS 66502 USA Thunderhead Engineering, 2019. – 68 p.
3. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382 «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» (в редакции приказа МЧС № 749 от 12.12.2011 «О внесении изменений в методику определения величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382»).
4. Fire Cat. Настройка параметров движения для людей различных групп мобильности в Pathfinder 2015.2. Редакция 3, 2016. – 28 с.
5. Subway Station Passenger Movement. <https://support.thunderheadeng.com/tutorials/pathfinder/subway-station-passenger-movement/>

Для связи с авторами

Данилов Андрей Игоревич

danilov@ciofp.ru

Чижиков Владимир Петрович

info@ciofp.ru



ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ МЕТОДИКА А. И. БАДАНИНА ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

ELECTRICAL EXPLORATION TECHNIQUE BY A. I. BADANIN FOR ENGINEERING AND GEOLOGICAL SURVEYS

К. В. Романевич, А. Д. Басов, К. А. Дорохин, О. В. Бойко, С. В. Андрианов, Е. В. Костромитина, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

K. V. Romanevich, A. D. Basov, K. A. Dorokhin, O. V. Boyko, S. V. Andrianov, E. V. Kostromitina, JSC «Scientific Research, Design and Survey Institute «Lenmetrogioprotrans», Saint Petersburg

В работе представлена методика альтернативной электротомографии, разработанная старшим научным сотрудником института А. И. Баданиным (1957–2019). Методика электрометрических наблюдений основана на выполнении профилирования с установкой градиента и перекрытием на разных участках в пределах обработки одного профиля. В результате по этим данным проводится двумерная интерпретация, аналогичная двумерной инверсии в стандартной электротомографии. Характерной чертой методики является отсутствие необходимости развертывания электроразведочных кос и подсоединения электродов к косе, а также необходимости перемещения многоэлектродной расстановки по профилю при работе на длинных профилях. Электроразведочная методика А. И. Баданина применяется при производстве геофизических (электротомографических) исследований для инженерных изысканий и геотехнического мониторинга транспортных тоннелей, а также может быть применена в ходе любых инженерно-геологических изысканий в качестве вспомогательного метода.

The paper presents an alternative electrotomography technique developed by Alexander Badanin, a senior researcher at the Institute, died 2019. The technique of electrometric observations is based on profiling with the installation of a gradient and overlap in different areas within the development of one profile. As a result, a two-dimensional interpretation is carried out from these data, similar to two-dimensional inversion in electrotomography. A characteristic feature of the technique is the absence of the need to deploy electrotomography cable and connect electrodes to the cable line, as well as the need to move the multi-electrode array along the profile when working on long distances. Electroprospecting technique by Badanin A.I. is used in the geophysical (electro-tomographic) studies for engineering surveys and geotechnical monitoring of transport tunnels, and can also be used in the course of any engineering-geological surveys as an auxiliary method.

Александр Иванович Баданин работал в научно-исследовательском отделе ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» с 2003 по 2019 г. в должности старшего научного сотрудника и основным направлением его деятельности являлась электроразведка. За это время им была разработана нестандартная методика электрометрических наблюдений, применявшаяся как при работах с дневной поверхностью, так и в подземных выработках. Особенностью этой методики является определенный порядок перемещения питающих и приемных заземлений вдоль профиля, позволяющий получать интегральный геоэлектрический разрез без использования кос и большого количества электродов. Такой порядок работы позволяет значительно сократить время полевых измерений и оперативно получать данные двумерной интерпретации для первоначальной оценки геотехнических условий и принятия решения о необходимости применения более де-

тальных методов геофизики и геотехники. В настоящее время методика А. И. Баданина в комплексе с другими методами инженерной геофизики применяется для инженерных изысканий и геотехнического мониторинга транспортных тоннелей и других подземных сооружений.

Александр Иванович получил квалификацию геофизика, сдав успешно выпускные экзамены и защитив диплом в 1982 г. на кафедре физики Земли Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени государственного университета имени А. А. Жданова (так назывался в те годы легендарный университет или коротко ЛГУ, а ныне известный как Санкт-Петербургский государственный университет).

Методика электротомографических исследований

Методика электрометрических наблюдений, предложенная А. И. Баданиным, основа-

на на выполнении профилирования с установкой градиента и перекрытием на разных участках в пределах обработки одного профиля. В результате по этим данным проводится двумерная интерпретация, аналогичная двумерной инверсии в электротомографии. Характерной чертой методики является отсутствие необходимости развертывания электроразведочных кос и подсоединения многоэлектродной расстановки по профилю при работе на длинных профилях. Настоящая методика может быть отнесена к одному из вариантов т. н. альтернативной электротомографии, хотя и не описанной в [1].

Порядок проведения работ

Полевые измерения производятся в несколько этапов.

1. Определяется необходимый разнос приемных электродов MN (1–5 м), выполняется подключение контактов MN к переносному

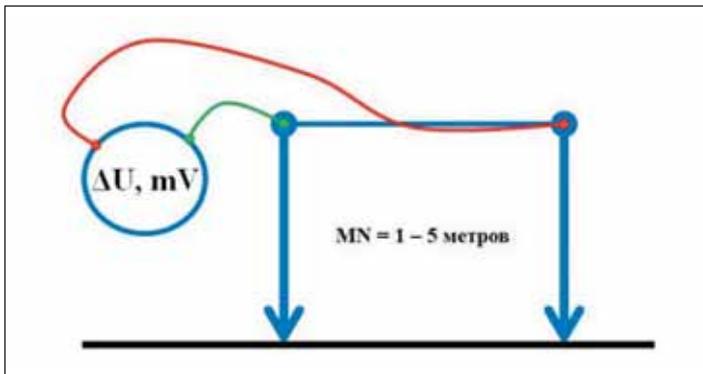
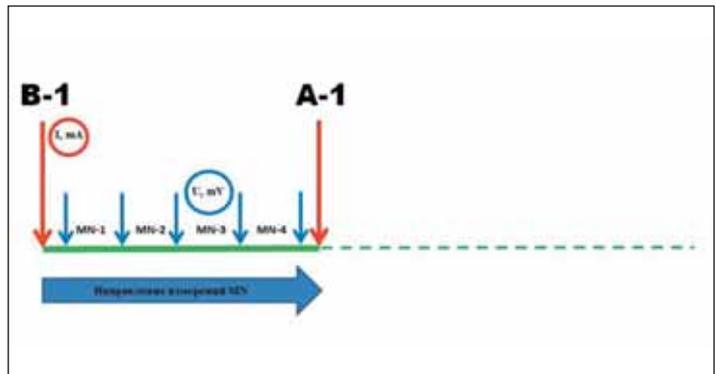
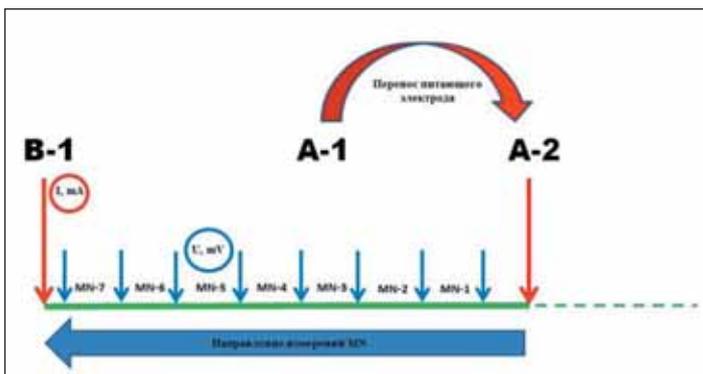
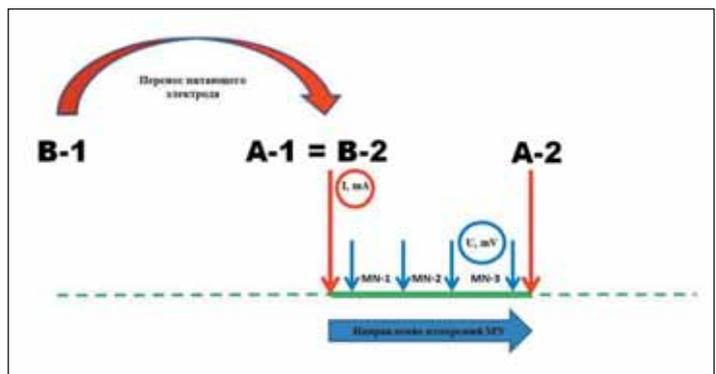
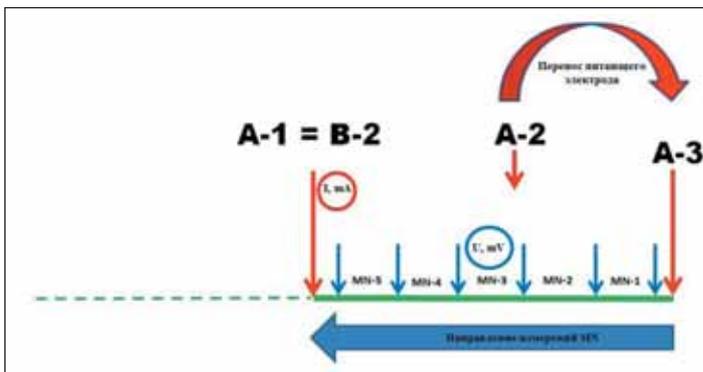
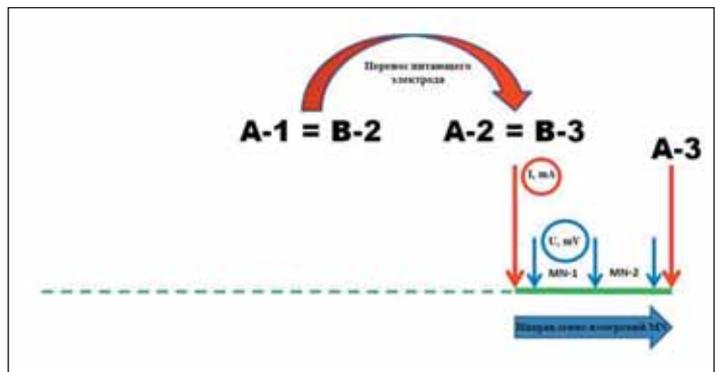


Рис. 1. Разнос приемных электродов MN для проведения измерений

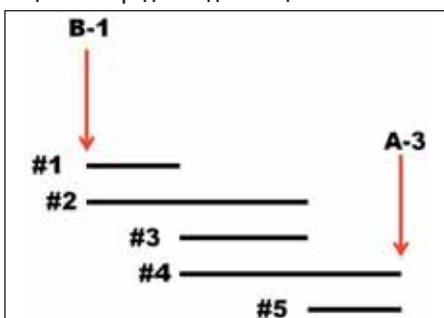
Рис. 2. Измерения ΔU на участке профиля от В-1 до А-1Рис. 3. Перенос питающего электрода с позиции А-1 на позицию А-2, измерения ΔU на участке профиля от А-2 до В-1Рис. 4. Перенос питающего электрода с позиции В-1 на позицию В-2 (место А-1), измерения ΔU на участке профиля от В-2 до А-2Рис. 5. Перенос питающего электрода с позиции А-2 на позицию А-3, измерения ΔU на участке профиля от А-3 до В-2Рис. 6. Перенос питающего электрода с позиции В-2 на позицию В-3 (место А-2), измерения ΔU на участке профиля от В-3 до А-3

измерителю (рис. 1). Работа с разномом MN подразумевает двумя операторами, один из которых перемещается с измерителем.

2. Производится установка параметров измерителя (выбирается рабочая частота).

3. Производится заземление двух питающих электродов: А-1 и В-1. Для забивки электродов

Рис. 7. Пять участков профиля от позиции питающего электрода В-1 до позиции А-3



применяют молоток или кувалду. Один из питающих электродов находится в пункте стояния генератора, другой – относится на необходимое расстояние при помощи катушки (в зависимости от общей глубины исследований, первый разнос может достигать 100–500 м и более). Профиль располагается вдоль прямой линии, допускаются плавные повороты профиля. Координаты положения питающих электродов определяются с помощью GPS.

4. Производится установка параметров генератора (задается рабочая частота и амплитуда тока в питающей линии). Оптимальные параметры определяются опытными работами.

5. Производятся измерения ΔU разномом MN вдоль участка профиля от электрода В-1 до электрода А-1 (рис. 2). После отработки участка профиля питающая линия отключается.

6. Производится перенос питающего электрода дальше по профилю с позиции А-1 на позицию А-2, после чего производится измерения ΔU разномом MN вдоль участка профиля от электрода А-2 до электрода В-1 (рис. 3). После отработки участка профиля питающая линия отключается.

7. Производится перенос питающего электрода с позиции В-1 на позицию В-2 (место А-1), после чего производится измерения ΔU разномом MN вдоль участка профиля от электрода В-2 до электрода А-2 (рис. 4). После отработки участка профиля питающая линия отключается.

8. Производится перенос питающего электрода дальше по профилю с позиции А-2 на позицию А-3, после чего производится измерения ΔU разномом MN вдоль участка профиля от электрода А-3 до электрода В-2 (рис. 5). После отработки участка профиля питающая линия отключается.

9. Производится перенос питающего электрода с позиции В-2 на позицию В-3, после чего производятся измерения ΔU разном MN вдоль участка профиля от электрода В-3 до электрода А-3 (рис. 6).

Таким образом, отрабатывается пять участков профиля от позиции питающего электрода В-1 до позиции А-3 (рис. 7). В дальнейшем профиль может быть продолжен дальше в таком же порядке.

Высотно-плановая привязка профиля необходима для правильной обработки интерпретации данных. Обычно ее выполняют параллельно с процессом измерений. Для этого положение каждого электрода отмечается и сохраняется в приемнике GPS. Также проводится дополнительное определение рельефа профиля по глазомерной или инструментальной съемке.

Обработка полученных данных

Обработка и быстрая 2-D инверсия для данной методики выполняется с использованием метода наименьших квадратов стандартными программами инверсии [2]. Двумерная 2-D модель, используемая программой инверсии, состоит из ряда прямоугольных блоков, расположение блоков слабо связано с распределением точек на псевдоразрезе. Распределение и размер блоков автоматически генерируется программой, так что число блоков обычно не превышает числа точек измерения.

Расположение блоков, используемых в модели вместе с точками записи на псевдоразрезе при работе с косой, показано на рис. 8 (верхняя схема), там же (нижняя схема) показано расположение блоков с точками записи на псевдоразрезе при работе по приводимой методике.

Таким образом, можно видеть, что распределение точек записи на псевдоразрезе при работе по приводимой методике гораздо более редкое, что однако позволяет давать грубую оценку распределения сопротивлений горных пород в массиве. Кроме того, такая грубая оценка может быть получена для значительно больших профилей за то же время работы, чем при работе с косой.

Как показывает практика, реальная геологическая среда часто оказывается неоднородной как по горизонтали, так и по вертикали, особенно если речь идет о горных районах, где чаще всего проектируются тоннельные переходы. В таких условиях общая задача электроразведки (электротомографии) сводится к интерполяции между скважинами, и поиску ответа на вопрос: «Как геологическое строение массива меняется между парой скважин?». Эта задача-минимум для электротомографических исследований решается различными специалистами по-разному в зависимости от имеющейся в наличии аппаратуры и опыта. Наш опыт проведения электроразведочных работ показывает, что приведенная здесь методика позволяет значительно повысить производительность работ, не требует применения многоканаль-

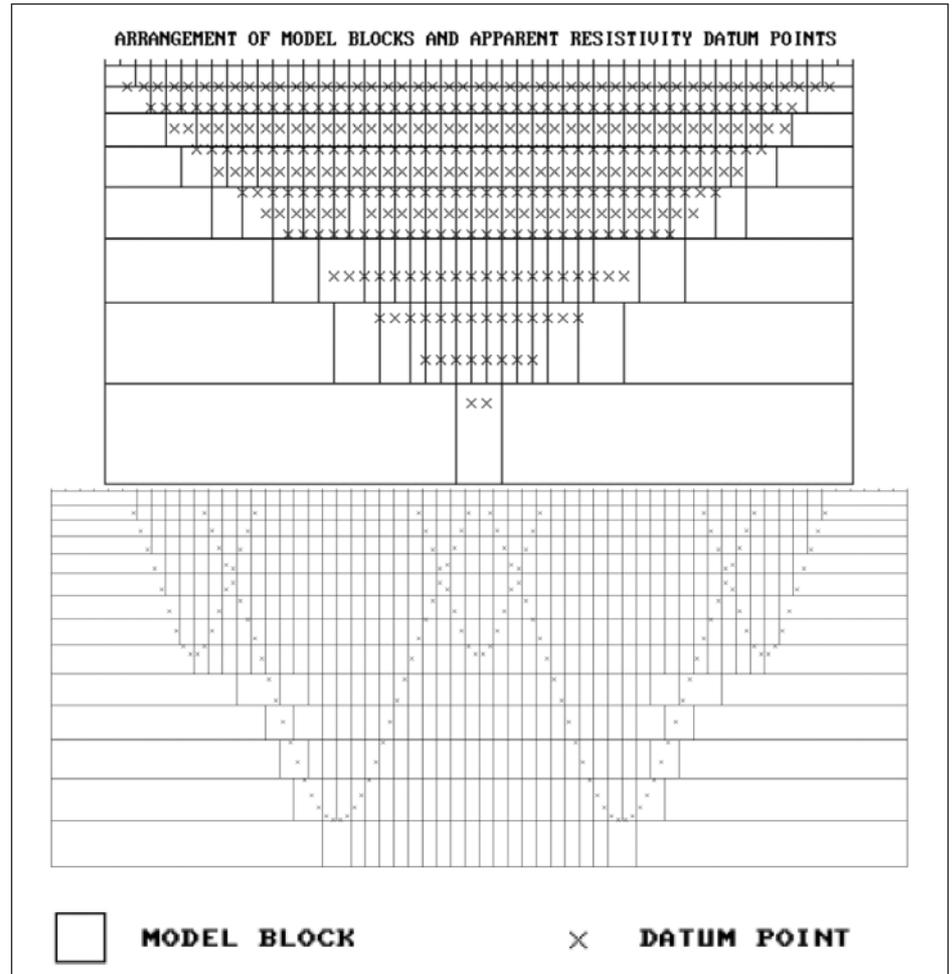


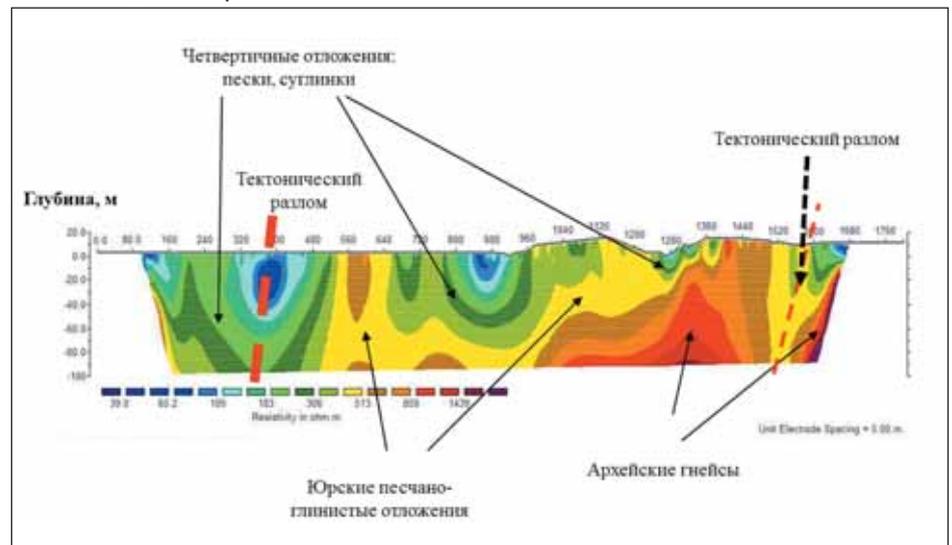
Рис. 8. Расположение блоков, используемых в модели вместе с точками записи на псевдоразрезе при работе с косой (вверху) и при работе по приводимой методике (внизу)

ных кос и позволяет обрабатывать длинные профили за сравнительно малые отрезки времени, хотя и с потерей части информации. Однако получаемых оперативно результатов достаточно для принятия решения о применении более детальных методов геофизики и/или геотехники включая бурение.

Методика А. И. Баданина является экспресс-методом при обработке длинных про-

филей. В ходе исследований могут быть локализованы аномальные интервалы, в пределах которых уже будут выполнены детальные работы. Это особенно актуально при изысканиях (а также мониторинге) при строительстве и реконструкции крупных линейных сооружений, таких как транспортные тоннели, так как покрытие детальными геофизическими работами всей протяжен-

Рис. 9. Результат двумерной интерпретации электроразведочных данных, полученных по рассматриваемой методике измерений с обозначением основных геологических и тектонических особенностей



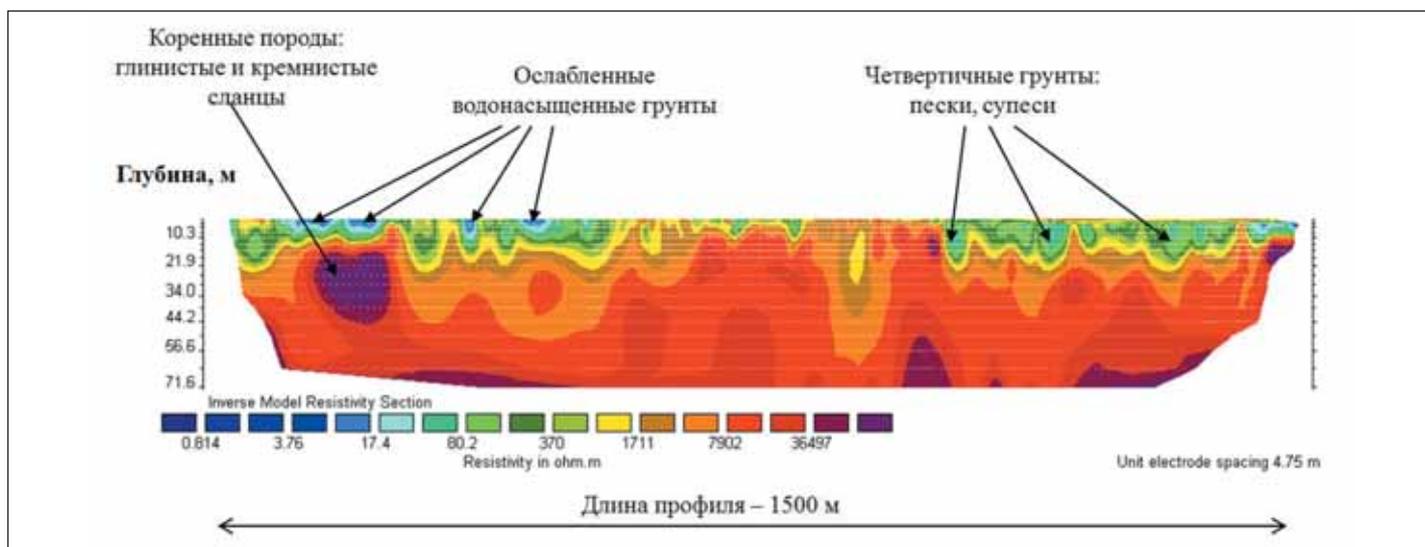


Рис. 10. Результат двумерной интерпретации электроразведочных данных, полученных по рассматриваемой методике измерений с обозначением основных геологических особенностей



Рис. 11. Рабочие моменты при проведении полевых работ под руководством Александра Ивановича Баданина

ности тоннелей, как правило, экономически нецелесообразно.

Работы по такой методике выполняются в ходе изыскательских работ и мониторинга в рамках научно-исследовательских работ отдела НИО ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» наряду с традиционными методиками, как на дневной поверхности, так и в различных горных выработках. В том числе для решения геотехнических задач при строительстве и мониторинге подземных сооружений Московского и Петербургского метрополитенов, изысканий под транспортные тоннели в Краснодарском крае, на БАМе и Транссибе и др.

На рис. 9 показан глубинный результат двумерной интерпретации электроразве-

дочных данных, полученных по рассматриваемой методике измерений с обозначением основных геологических и тектонических особенностей. Электроразведочный профиль проходил по лесному массиву в тайге с целью изучения разломных структур в коренных породах.

На рис. 10 приведен результат двумерной интерпретации электроразведочных данных, полученных по рассматриваемой методике измерений с обозначением основных геологических особенностей.

Электроразведочный профиль был заложен внутри подводного тоннеля. В ходе работ были исследованы ослабленные водонасыщенные грунты в заобделочном про-

странстве. Это демонстрирует возможности методики А. И. Баданина при производстве работ из протяженных подземных сооружений для оценки геотехнических условий за тоннельной обделкой.

Выводы

Электротометрические исследования по методике А. И. Баданина являются упрощенным вариантом метода электротомографии (альтернативной электротомографии) и отличаются мобильностью и меньшими трудозатратами при полевых работах. Явным преимуществом приводимой экспресс-методики по сравнению со стандартными методиками (с применением многоканальных кос) являются большие разности, позволяющие хотя и грубо, однако интегрально и оперативно оценивать распределение электросопротивления в разрезе на больших дистанциях и глубинах, в том числе и выполняя работы внутри протяженных подземных сооружений.

Ключевые слова

Геофизика, электротомография, электрическое сопротивление, геология, инженерные изыскания, мониторинг, транспортные тоннели.

Geophysics, electrotomography, electrical resistance, geology, engineering surveys, monitoring, transport tunnels.

Список литературы

1. Бобачев А.А., Бальшаков Д.К., Модин И.Н., Шевнин В.А. [2013] *Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей*. Т. II. *Малоглубинная электроразведка*. Москва: МГУ. – 123 с.
2. Loke, M. H. and Barker, R.D. 1996. *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method*. *Geophysical Prospecting*, 44, 131–152.

Для связи с авторами

Романевич Кирилл Викторович
romanevichkirill@gmail.com



ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ В ОБЛАСТИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В РОССИИ

PROBLEMS OF TRAINING ENGINEERS IN THE FIELD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION IN THE RUSSIAN FEDERATION

С. А. Бахтин, к. т. н., Г. Н. Полянкин, к. т. н., К. В. Королев, д. т. н., Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)

S. A. Bakhtin, Ph. D., G. N. Polyankin, Ph. D., K. V. Korolev, Doctor of Technical Sciences, Siberian State University of Communications (SSUPS)

В связи с возобновлением интенсивного строительства горных железнодорожных тоннелей в восточных районах страны, в первую очередь на трассе Байкало–Амурской магистрали, обширной программой строительства метрополитена в Москве, Санкт–Петербурге, Челябинске, Красноярске и других городах, остро встал вопрос подготовки кадров для подземного проектирования и строительства, сократившихся в разы с 90–х годов прошлого столетия. В статье руководителей СГУПС рассмотрены пути совершенствования подготовки абитуриентов в вузах и дальнейшей подготовки преподавательских кадров.

In connection with the resumption of intensive construction of mountain railway tunnels in the eastern regions of the country, primarily on the route of the Baikal–Amur Mainline, an extensive program for the construction of the metro in Moscow, St. Petersburg, Chelyabinsk, Krasnoyarsk and other cities, the issue of training personnel for underground design and construction, which has decreased significantly since the 90s of the last century, has become acute. The article of the leaders of SSUPS considers the issues of improving the training of applicants in universities and further training of teaching staff.

Освоение подземного пространства ученые ставят в один ряд с такими глобальными проблемами, как освоение космоса и морских глубин.

Строительство тоннелей и метрополитенов – это особая область знаний при освоении подземного пространства, которая требует специальной подготовки инженеров, способных решать сложные технические задачи по созданию надежных и экономичных конструкций подземных сооружений.

Как известно, корни российских транспортных и подземных строителей уходят вглубь веков, а первое в России транспортное высшее учебное заведение (Петербургский институт Корпуса инженеров путей сообщения) существует с 1809 г.

В последние 15–20 лет в отечественном тоннеле- и мостостроении произошли прямо-таки революционные события, которые не могли не отразиться и на системе подготовки мостовиков и тоннельщиков.

Во-первых, началась массовая реконструкция «царских» железнодорожных тоннелей и мостов, построенных в России в конце XIX в.

Во-вторых, в России по-настоящему началось строительство скоростных железных и автомобильных дорог (от магистралей «Дон» и «Байкал» до инфраструктуры Олимпиады в Сочи – 2014), которые немислимы без тоннелей, мостов, путепроводов и эстакад. Отдельно следует отметить работы по реконструкции Восточного полигона РЖД, включая Транссиб и БАМ.



Прохождение практики на Сочинских тоннелях

В-третьих, архитектурно выразительные мосты, тоннели и новые станции метрополитена, которые стали определять имидж наших городов (Русский мост во Владивостоке, Манежная площадь, ушедшая под землю, Лефортовский и Серебряноборский тоннели, Живописный мост в Москве, вантовые мосты через Неву в Петербурге, новые станции метро в Москве, Петербурге, Казани и др.).

Это, безусловно, привело к резкому повышению спроса на выпускников вузов по специальности «Мосты и транспортные тоннели», что усугубилось естественным выходом на пенсию инженеров советского периода и фактически массовым уходом из профессии поколения выпускников 1990-х годов.

Но так как российская история не обходится без парадоксов, то в последние годы одновременно шло два противоречащих друг другу процесса:

- обвальное сокращение бюджетного набора в действующих десяти вузах, готовящих тоннельщиков и мостовиков, в конце 90-х – начале 2000 гг. (на примере СГУПС: 1988 г. – 150 чел.; 1991 г. – 75 чел.; 1997 г. – 40 чел.;

2006 г. – 35 чел. и некоторое повышение бюджетного набора с 2010 г. – 55 чел.);

- не менее стремительное открытие подготовки только по специализации «Мосты» в семи (!) «новых» вузах (Иркутска, Екатеринбург, Самары, Волгограда, Казани и Ростова-на-Дону), причем всего по одной студенческой группе в составе «родственных» факультетов. Специализация «Тоннели и метрополитены» представлена только в трех вузах России: РУТ, ПГУПС и СГУПС.

Подготовка кадров. Дефицит высококвалифицированных специалистов в области освоения подземного пространства

СГУПС имеет план бюджетного набора в последние годы на специальность «Мосты и транспортные тоннели» от 40 до 55 чел. При разделении на специализации на III курсе формируются: 26–32 студента на специализацию «Мосты» и 18–23 человека на специализацию «Тоннели и метрополитены» (это при условии максимальных усилий по сохранению контингента, которые разработаны и применяются в СГУПС в 1995–2022 гг.).

На выпуске V курса данные цифры уменьшаются до 24–30 «мостовиков» и 15–20 «тоннельщиков» из бюджетного набора. Причем это наивысшие цифры выпускников по российским транспортным вузам.

При этом СГУПС получает ежегодно до 50–60 заявок на «тоннельщиков» в области проектирования и строительства подземных сооружений, тоннелей и метрополитенов (Москва, Сочи, Казань, Апатиты, Башкирия, БАМ...) и до 80–100 заявок на «мостовиков», как мы говорим «от Сочи до Владивостока». Следует отметить, что по диплому разделения на специализации нет. Все выпускники факультета могут работать на любых объектах транспортной отрасли.

Это привело на примере СГУПС к следующей ситуации: чтобы сохранить факультет, коллектив преподавателей и качественную подготовку тоннельщиков и мостовиков в составе полноценного курса (90–100 чел.), мы обязаны набирать не менее 40–45 абитуриентов на договорной основе к имеющимся бюджетным местам.

Форма целевой подготовки для предприятий строительной отрасли

Сегодняшняя позиция государства в данном вопросе ясна, она объективна и юридически выверена: государство создало за несколько десятилетий (причем не самых благоприятных в экономическом плане) достойную базу для подготовки специалистов, включая инфраструктуру (учебные корпуса, общежития, библиотеки), кадры преподавателей высокой квалификации, и теперь оно «приглашает к дальнейшему сотрудничеству» негосударственные структуры. Ведь тоннельные и мостовые организации, выйдя из министерств путей сообщения и транспортного строительства, стали действительно представителями малого, среднего и крупного бизнеса.

В настоящее время можно отметить ряд организаций, которые оказывали в 1990–2010 гг. существенную поддержку нашему вузу по подготовке мостовиков и тоннельщиков: филиал ОАО «РЖД» – Западно-Сибирская железная дорога; Группа компаний СК «МОСТ» (включая в себя: «Строй-трест», ОАО «УМ ГР», ЗАО «УС ЮГСК»; самостоятельная в те годы ОАО «БАМтоннельстрой»; УС-30; ОАО «Сибмост»; «Мостострой-11»; «Уралмостострой»; ООО «ЮГСУ»; АО «Казметрострой»; АО «Мосметрострой»; СМУ-8, СМУ-6; ООО «ТрансМетроГрупп» Ингеокома и др.

Эти организации сотрудничали со СГУПСом по хозяйственной и научно-исследовательской работе, содействовали в обеспечении учебного процесса, организации производственных практик студентов, производства дипломным проектированием и т. д.

Но главную поддержку вузу в те тяжелые годы данные крупные организации оказывали своеобразным «заказом специалистов» – путем заключения договоров на обучение с абитуриентами, как мы называем «своими» (т. е. направленными самой организацией) и «чужими» (это абитуриенты, не прошедшие по конкурсу на бюджет и отобранные кадровой службой организации для заключения тройственных договоров для обучения студентов за счет данной организации).

Причем количество студентов, обучаемых за счет предприятий, было весьма велико, например, в 2011 г. только от тоннельных организаций получены гарантии заключения договоров на 26 чел., а это целая студенческая группа.

В 2010–2014 гг., как мы говорим «годы триумфа отечественного мосто- и тоннелестроения» (годы строительства сочинской трассы «Адлер – Альпика-сервис», вантовых супер мостов во Владивостоке), мы принимали на факультет по 110–130 студентов! Благодаря этим нестандартным действиям наших партнеров и настоящих друзей – факультет «Мосты и тоннели» в СГУПС с 1999 г. является единственным факультетом с таким названием в России.

К сожалению, ситуация «после Сочи и Владивостока» сильно изменилась: многие крупные организации, мягко говоря, «ушли из мосто-тоннелестроительной отрасли» («НПО «Мостовик», ООО «ЮГСК», ТО-18...), другие были поглощены более крупными и успешными структурами (СК МОСТ, БТС...). Это привело по многим причинам к резкому сокращению набора договорных студентов в вузы. Например, в СГУПС в 2020 и 2021 гг. мы к 55 студентам-бюджетникам смогли добавить всего по 7–10 договорных студентов, т. е. на первом курсе за парты в Новосибирске сели всего 67–73 студента. Через пять лет, что бы мы ни делали, при отсеивании 15–20 % за пять лет (а это «лучший» в России отсев) факультет МТ СГУПС выпустит 50–55 инженеров. А в 2022 г. мы получили более 160 заявок на своих выпускников (отрасль жива!).

Однако в настоящее время крупные мостовые, тоннельные и метростроительные организации практически прекратили заказывать

вузам подготовку студентов по договору. Наши многочисленные обращения к нынешним руководителям и владельцам крупных и средних организаций отрасли по поводу заключения целевых договоров на студентов МТ оказались не услышанными, возможно, в том числе и по причине отсутствия сегодня среди них инженеров-мостовиков и тоннельщиков.

Возникает вопрос об участии в процессе подготовки инженеров и небольших проектных и строительных организаций, возникших 15–25 лет назад и укомплектованных пока кадрами инженеров, подготовленных еще в 1960–1980 гг. Сегодня большинство этих предприятий откровенно рассчитывают получить как при социализме от государственных вузов специалистов бесплатно, а иногда и переманивают выпускников и молодых специалистов из других организаций, пользуясь сегодняшними правовыми «ямами». Хотя поле деятельности таких фирм постоянно сокращается и в ближайшие годы они должны почувствовать настоящий кадровый голод, который может даже привести к их уходу из данного бизнеса.

Выход для небольших проектных и строительных фирм, заинтересованных вести «честную игру» в деле подготовки инженеров, видится нам в создании Ассоциаций мостовых и тоннельных организаций или участия в этом некоммерческих саморегулируемых объединений проектировщиков и строителей.

Опыт взаимодействия СГУПС с многими организациями, возглавляемыми нашими выпускниками, дает пример плодотворного сотрудничества с тоннельными и мостостроительными организациями.

Взаимодействие вуза и заинтересованных в выпускниках организаций не должно ограничиваться только финансово-материальными вопросами, оно может простирается на более сильное влияние производителей на учебный процесс. Это может заключаться в корректировке существующих и разработке новых дисциплин, соответствующих мировому уровню; в привлечении уникальных специалистов для чтения лекций и руководства дипломным проектированием; в использовании новейших технологий в учебных и производственных практиках и т. д.

Следующая проблема, к которой можно подключить производителей, это улучшение качества подготовки абитуриентов, без которого в настоящее время невозможно подготовить качественных специалистов в силу сложности и уникальности профессии. Не секрет, что с одной стороны с каждым годом ухудшается школьная подготовка абитуриентов, особенно в сельской местности, а с другой стороны – нынешние студенты не проходят закалку духа в строительных отрядах, в которых ковались будущие командиры производства. То есть, чтобы подготовить, допустим, двух инженеров для Тюменского Севера или для Восточного полигона, необходимо принять трех-четыре абитуриентов из тех регионов по договорам, доучить до диплома двух-трех из них и создать для них

приемлемые условия, чтобы один-два выпускника закрепились на производстве. Вот такую многослойную задачу необходимо решать совместно вузу и производственникам.

Организация мероприятий, направленных на создание системы научного и кадрового потенциала, формирование инновационной образовательной среды

Не менее сложной задачей, требующей совместных действий, является программа сохранения и дальнейшей подготовки преподавательских кадров. Закрепить способных к научной и педагогической деятельности выпускников сегодня объективно трудно, т. к. зарплата мастера на стройке или простого инженера в проектной фирме в несколько раз превышает жалование молодого преподавателя без ученой степени, которую, кстати, получать с каждым годом все труднее.

Поэтому объединения (ассоциации) тоннельных и мостовых организации должны разработать программу «Преподавательские кадры», в которой предусмотреть финансирование надбавок для молодых и перспективных преподавателей, привлечение в вузы специалистов с производственным опытом, оплату их стажировок в передовых фирмах, предоставление льготных кредитов на решение жилищного вопроса и т. д.

Причем не обязательно производственные организации должны оказывать финансовую поддержку вузам безвозмездно. Существует несколько вариантов сотрудничества на взаимовыгодной основе. Например, кафедры и научные лаборатории могут осуществлять либо научно-техническое сопровождение строящихся объектов либо создавать научно-информационные центры, которые будут на договорной основе проводить поиск и анализ современной информации о мировом опыте проектирования и строительства подземных сооружений, тоннелей, объектов метрополитена и мостов. В процессе такой деятельности выиграет и качество подготовки инженеров, и производственники получают отдачу от вложения своих средств не через десяток лет, а значительно раньше.

Повышение квалификации профессорско-преподавательского состава, организация стажировок

Важнейший вопрос, требующий серьезных материальных вложений бизнеса. В первую очередь следует создать систему по закупке лицензионных программных продуктов, зарубежных журналов и буклетов передовых фирм и т. д. Вуз сегодня экономит даже на командировках преподавателей по руководству практикой студентов и научных конференциях в пределах страны.

Другой важнейшей точкой соприкосновения вузов и производственных коллективов является повышение квалификации инженерных и руководящих работников, а также тесно связанные с ними вопросы лицензирования и сертификации. Не секрет, что в настоящее время большинство предприятий, обременен-



Студенты СГУПС на объектах Сочи

ных постоянным зарабатыванием текущих денег, не заглядывают далеко в будущее и «повышение квалификации» рассматривают как очередную обузу, за которую еще и надо платить. Можно надеяться, что придет такое время настоящей научно-технической конкуренции строительных и проектных фирм, которое потребует от лидеров рынка истинного инженерного прорыва, невозможного без новых знаний и умений. Тогда организации, управляя своих работников на повышение квалификации, должны потребовать от вузов освоения новых конкретных учебных программ, шагающих в ногу с прогрессом. А разработка этих программ, безусловно, связана с дополнительным финансированием совместной деятельности вузов и предприятий.

Формирование современных требований к специалистам подземного строительства

Принятый в конце 2010 г. Федеральный государственный образовательный стандарт (ФГОС) третьего поколения самое главное сохранил инженерную пятилетнюю подготовку тоннельщиков и метростроителей в рамках новой специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей», специализация № 4 «Тоннели и метрополитены» (дипломированный специалист).

Но данная специальность может существовать только в железнодорожных вузах, а вузы Минобразования (МАДИ, ЛИСИ, СибАДИ, КазИСИ и т. д.) перешли на подготовку бакалавров по направлению «Строительство» с 4-летним сроком обучения без специализаций «Мосты» и «Тоннели».

Вопрос организации практик для студентов

В ФГОС сформированы современные требования к подготовке инженеров, но ряд положений нового ФГОС просто удивляет. Например, существенно сокращена производственная практика студентов – основа новых знаний студентов и преподавателей, т. к. вуз не сможет утнаться за быстро меняющимися инновационными технологиями и современным оборудованием, используемым на передовых объектах строительства. Также не реше-

ны вопросы оплаты студентам, обучающимся по договорам, медицинских комиссий, проезда до мест практики, суточных и т. д.

Практика по ГОС-2 в 2000 г.: после III курса – 6 недель, после IV курса – 11 недель. В 2011 г.: после обоих курсов по 4 недели (с дорогой туда и обратно). Учебная практика по геодезии уменьшилась с 4 до 3 недель.

Из пяти лет обучения 42 недели составляют каникулы?

Министерство образования РФ должно возвратиться к срокам производственных практик в соответствии со старым ГОС 2000 г.

Заключение

1. На основании анализа состояния высшего образования в России по специальности «Мосты и транспортные тоннели», специализации «Тоннели и метрополитены», считаем необходимым:

- совершенствовать утвержденные Министерством образования ФГОС особенно в отношении практической подготовки будущих специалистов;
- привлечение внимания «представителей бизнеса» к общей проблеме подготовки инженеров, в нашем случае – крупных и малых мостовых, в тоннельных организаций строительного и проектного профиля.

2. Решение поставленных вопросов возможно только путем совместных усилий государства, частного бизнеса и вузов, заинтересованных в повышении качества подготовки и получении высококвалифицированных инженерных кадров.

Ключевые слова

Тоннели и метрополитены, подготовка кадров.

Tunnels and subways, trainin.

Для связи с авторами

Бахтин Сергей Анатольевич
bsa-stu@yandex.ru
Полянкин Геннадий Николаевич
polyankin@mail.ru
Королев Константин Валерьевич
korolev_kv@mail.ru



ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В КРУПНЫХ ГОРОДАХ ВЬЕТНАМА

UNDERGROUND CONSTRUCTION IN MAJOR CITIES OF VIETNAM

Л. В. Маковский, к. т. н., профессор, В. В. Кравченко, к. т. н., доцент, Май Ван Лок, аспирант, Нгуен Нгок Хан, аспирант, кафедра мостов, тоннелей и строительных конструкций МАДИ

L. V. Makovskii, Ph. D., V. V. Kravchenko, Ph. D., Mai Van Loc, Nguyen Ngoc Khan, MADI, Department of Bridges, Tunnels and building constructions

В статье приведены примеры ряда построенных и строящихся тоннелей во Вьетнаме, таких как Кучи, Деока, Тхунтем и др. Рассмотрены инженерно-технологические особенности и характеристики этих подземных сооружений. Проанализированы проблемы и аварийные ситуации, которые возникали при строительстве тоннеля Хайван. Рассмотрены инженерные мероприятия и технологии, которые были успешно реализованы для ликвидации этих аварий.

Анализируется начатое в 2012 г. строительство в городах Хошимин и Ханой двух городских железнодорожных систем, которые будут включать в себя сочетание метрополитена, трамвая и монорельса. Проект планируется реализовать к 2023 г.

Рассмотрено текущее состояние подземной инфраструктуры в городах Ханой и Хошимин, а также обосновывается необходимость дальнейшего развития их подземного пространства.

The article gives examples of a number of tunnels built and under construction in Vietnam, such as Kuchi, Deoka, Thuntem, etc. The engineering and technological features and characteristics of these underground structures are considered. The problems and emergencies that arose during the construction of the Haivan tunnel are analyzed. The engineering measures and technologies that have been successfully implemented to eliminate these accidents are considered.

The article analyzes the construction started in 2012 in Ho Chi Minh City and Hanoi of two urban rail systems, which will include a combination of metro, tram and monorail. The project is planned to be completed by 2023.

The current state of the underground infrastructure in the cities of Hanoi and Ho Chi Minh City is considered, and the need for further development of underground space in these cities is substantiated.

Вопросы эффективного использования подземного пространства и обоснования экономической целесообразности строительства подземных транспортных сооружений в городах Вьетнама являются актуальными и имеют большое практическое значение для развития страны. В настоящее время стремительно осваивается подземное пространство для устройства торговых комплексов Мега Молл в Роял Сити, Тайм Сити в Ханое и др., подземных автостоянок в парке Ле Ван Там, под спортивным стадионом Хоалы, автотранспортных тоннелей и метрополитена в городах Ханой и Хошимин.

В настоящей статье проанализирован опыт строительства транспортных тоннелей и намечены перспективы развития подземного пространства во Вьетнаме.

Текущее состояние и перспективы подземного строительства

Во время военных действий в 1965–1975 гг. во Вьетнаме построен ряд непротяжённых тоннелей. Примером служат тоннели Кучи, расположенные на удалении 70 км от центра г. Хошимин к северо-западу страны. Эти тоннели входили в единую разветвлённую систему с общей длиной более 250 км и были предназна-



Рис. 1. Общий вид тоннеля Хайван (проект)

чены для соединения сооружений различного назначения: бытового, медицинского, складов провизии и боеприпасов и пр. В настоящее время тоннели Кучи имеют историческое значение и привлекают большое количество местных и иностранных туристов [3].

В 2005 г. был открыт для автомобильного движения тоннель Хайван через одноимённый перевал, соединяющий провинцию Тхья

Тхиэн Хуэ и город Дананг (рис. 1). Это один из важных транспортных проектов, в котором применялись передовые достижения науки и техники Вьетнама. Для проектирования и строительства тоннеля привлекались ведущие специалисты из Японии. Общая длина перевала составляет 12047 км, длина основного транспортного тоннеля – 6280 м. Тоннель имеет ширину 10 м и предназначен для двух-

полосного автомобильного движения (рис. 2). Параллельно основному тоннелю сооружён аварийный с шириной 4,7 м, который соединён с ним горизонтальными сбойками, служащими для эвакуации людей в случае возникновения аварийных ситуаций. После постройки тоннеля время движения через перевал сократилось с 1 часа до 15 минут, что способствовало экономическому развитию Вьетнама, а также уменьшению количества дорожно-транспортных происшествий.

Проходку основного и вспомогательного тоннелей вели в сложных инженерно-геологических условиях буровзрывным способом по технологии НАТМ. При строительстве тоннеля произошли две аварии, одна из которых была связана с оползневыми процессами, другая – с проникновением воды в тоннельную выработку, что привело к обрушению породы в забое тоннеля. Эти две аварии не привели к человеческим жертвам и были ликвидированы за достаточно короткий промежуток времени. Первая авария произошла спустя пять месяцев после начала строительства тоннеля и была вызвана, главным образом, выветриваемостью горной породы каньона, где расположен портал тоннеля. Произошло обрушение 600 м³ породы массой более 20 т. Оползень на склоне имел ширину 3 м и площадь осадки более 100 м². За четыре месяца был стабилизирован грунтовый массив и ликвидированы разрушительные последствия аварии. Стоимость работ составила 300 тыс. долларов США, стоимость строительного материала – 500 тыс. долларов США [4].

Вторая авария произошла в марте 2001 г. при строительстве вентиляционной шахты на северном портале тоннеля, в результате которой он был затоплен грунтовыми водами из разлома в коренной породе, и строительство было остановлено. Для ликвидации аварии в зону тектонического разлома был инъецирован химический состав, после чего вода была откачана. Ремонтные работы завершились за шесть месяцев. После четырех лет строительства тоннеля движение по нему было официально открыто.

В ноябре 2012 г. началось строительство автодорожного тоннеля Деока на одноимённом горном перевале. Длина тоннеля составила 4125 м, он соединил две провинции Фуйен и Кханьхоа. Тоннель Деока включает в себя два параллельных тоннеля на расстоянии 30 м друг от друга. Каждый тоннель имеет ширину 9,75 м, высоту 7,9 м и предназначен для двухполосного движения с расчетной скоростью 80 км/ч (рис. 3) [5]. При строительстве тоннеля Деока применяли технологию НАТМ в сложных инженерно-геологических условиях, которые характеризуются гранитами и сильно выветрелыми гранодиолитами. Строительство тоннеля было успешно завершено. Построенный тоннель способен выдержать землетрясения силой 7 баллов по шкале Рихтера. После ввода тоннеля в эксплуатацию время движения через перевал Деока сократилось с 60 до 10 минут [6].

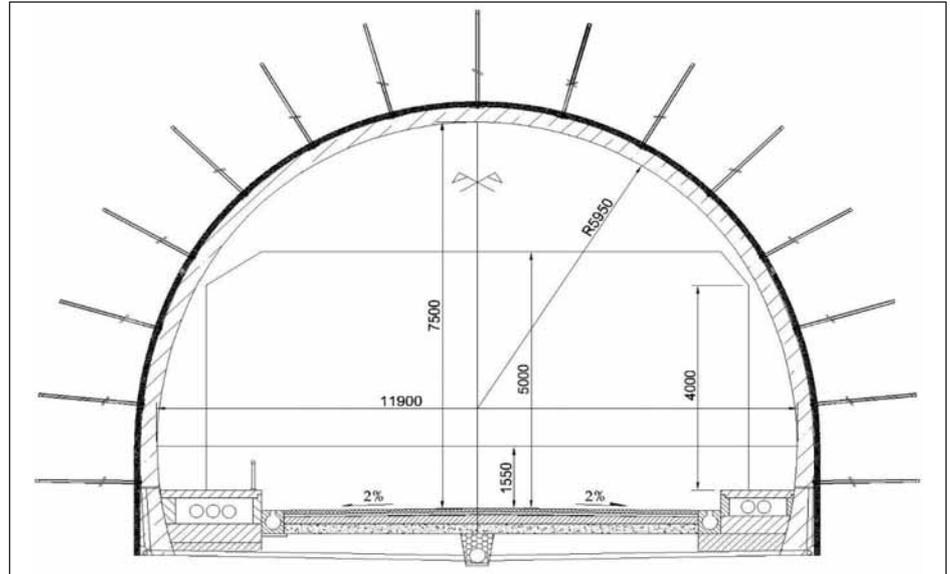


Рис. 2. Поперечное сечение тоннеля Хайван

В ноябре 2011 г. был открыт тоннель Тху Тхием длиной 1490 м, соединяющий районы 1 и 2 города Хошимин (рис. 4). Рампы тоннеля имеют длины 185 и 215 м соответственно. Закрытая часть тоннеля возводилась с применением двух технологий: центральная длиной 370 м – методом опускных секций, а береговые участки длиной 400 и 320 м – щитовым методом. В самой глубокой части глубина воды над 1,5-метровой засыпкой составила 24 м. Тоннель предназначен для 3-полосного дви-

жения в обоих направлениях и снабжён системой видеонаблюдения, а также сигнализацией для оперативного реагирования в случае возникновения аварийных ситуаций.

При строительстве тоннеля Тху Тхием впервые во Вьетнаме была применена технология опускных секций, при которой пространственные элементы тоннеля изготавливали в стороне от места строительства, на плаву транспортировали в створ и затопляли в заранее вскрытый под дном водотока котлован

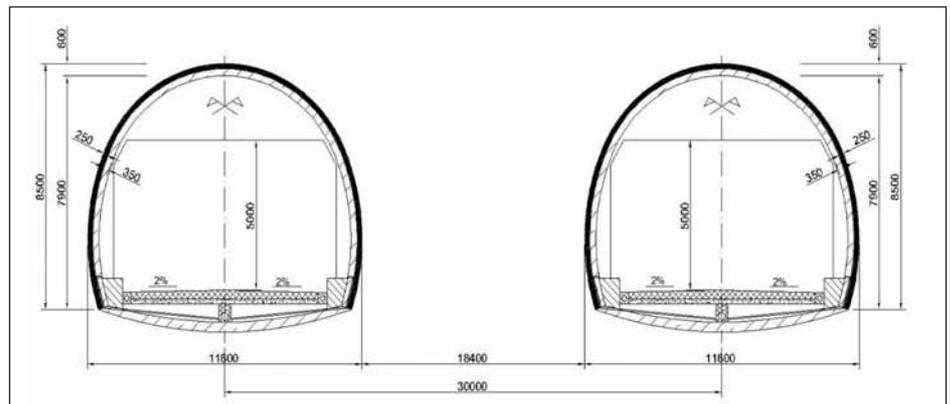
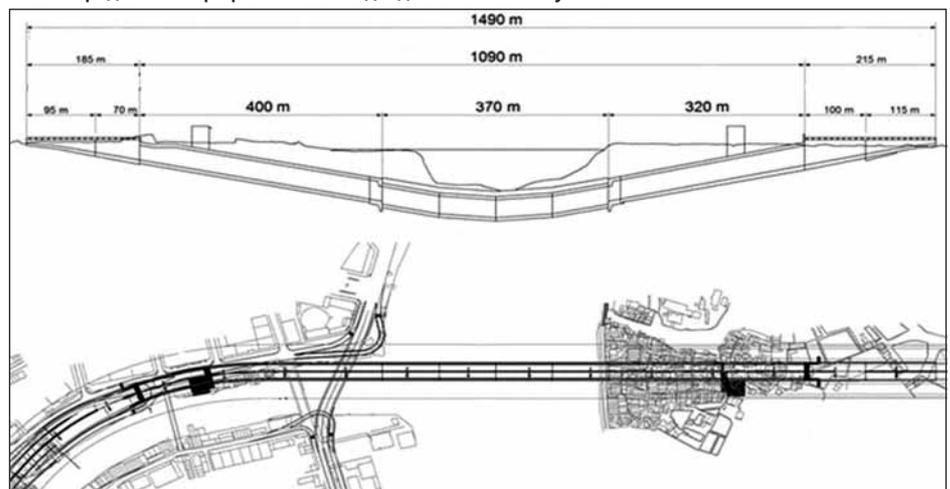


Рис. 3. Поперечное сечение тоннеля Деока

Рис. 4. Продольный профиль и план подводного тоннеля Тху Тхием



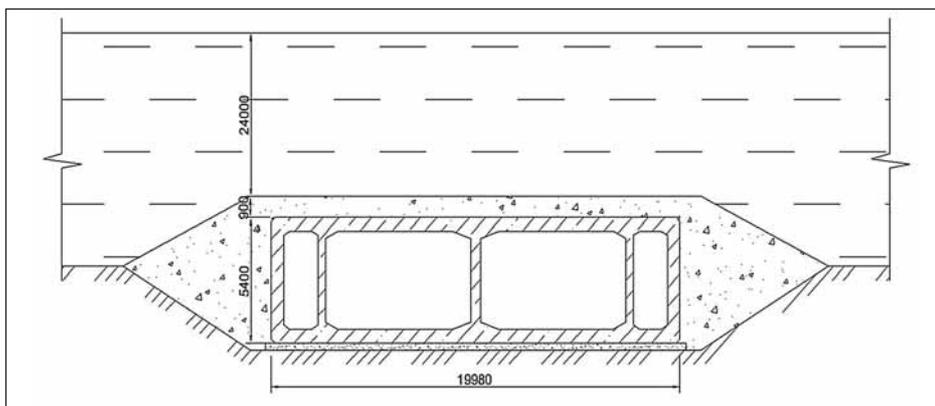


Рис. 5. Поперечное сечение опускной секции тоннеля Тху Тхием

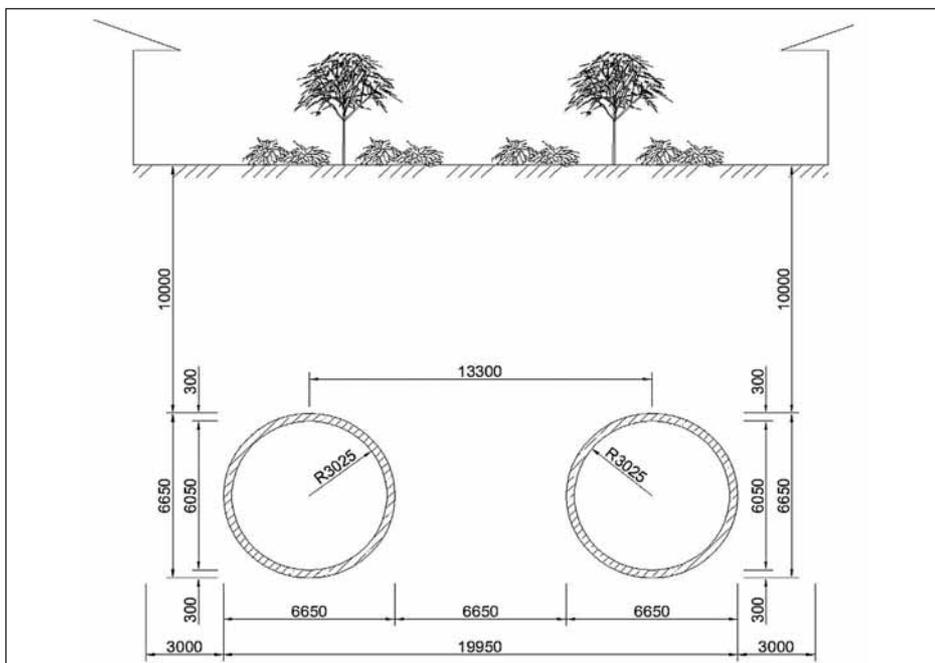


Рис. 6. Схема поперечного сечения перегонных тоннелей метрополитена в Хошимине

на подготовленное основание. Секции стыковали между собой, создавая водонепроницаемое соединение, а затем засыпали грунтом и камнем. Каждая секция тоннеля представляет собой железобетонный пространственный элемент с размерами поперечного сечения 33,3×9 м, толщиной перегородок до 1,5 м (рис. 5). Длина каждой опускной секции составила (90 м, вес – до 27 тыс. т [7].

В настоящее время во Вьетнаме ведется строительство двух городских железнодорожных систем: в Хошимине и Ханое, представляющих собой сочетание метрополитена, трамвая и монорельса. Строительство системы началось в 2012 г. и ожидается, что она будет введена в эксплуатацию в 2023 г. Для Ханоя это будет уже вторая городская железнодорожная линия после Катлин и первая линия метро для Вьетнама. Проект городской железнодорожной системы Хошимина включает 175 станций общей протяженностью 225,5 км, из которых 72,9 км находятся под землей.

Схема поперечного сечения перегонных тоннелей метрополитена в Хошимине приведена на рис. 6 [8]. Два тоннеля внутреннего диаметром 6,65 м каждый планируется строить с применением щитового способа, кото-

рый является наиболее эффективным для слабых осадочных грунтов данного региона.

Разработана городская железнодорожная сеть г. Ханой с перспективой развития до 2030 г. [9]. Она состоит из 10 линий с общей протяженностью 417 км, из которых 342 км находятся над землей, а 75 км – под дневной поверхностью, которые планируется сооружать щитовым способом.

Заключение

В настоящее время во Вьетнаме реализуется программа комплексного освоения подземного пространства крупных городов, транспортная инфраструктура которых непрерывно развивается и усложняется.

В крупных городах, таких как Ханой, Хошимин, Дананг и пр., земельный фонд для городского строительства уже практически исчерпан, значительно сокращены общественные пространства и зеленые насаждения. В связи с этим, освоение подземного пространства в регионе уже стало настоятельной необходимостью. Имея накопленный опыт проектирования и строительства подземных сооружений, а также развивая данное направление с научной точки зре-

ния, можно в достаточно короткие сроки превратить Вьетнам в современный город, отвечающий мировым европейским стандартам жизни и деятельности.

Ключевые слова

Тоннель, подземное пространство, метро, аварийная ситуация, инженерно-геологические условия, Вьетнам.

Tunnel, underground space, subway, emergency situation, engineering-geological conditions, Vietnam.

Список литературы

1. Nguyễn Xuân Trọng. *Thi công hầm và công trình ngầm (MUCE) – Nhà xuất bản xây dựng. Hà Nội / Нгуиэн Суан Чонг. Строительство тоннелей и подземных сооружений (MUCE). Учебное пособие. – Издательство строительства. Ханой, 2010. – 233 с.*
2. Nghiêm Hữu Hạnh. *Công trình ngầm (TLU) – Hà Nội, 2012 / Нгуиэм Хью Хань. Подземные сооружения (TLU). Учебное пособие. – Ханой, 2012. – 168 с.*
3. Anh Tuấn, Địa đạo Củ Chi: «Thành phố dưới lòng đất» – Tạp chí du lịch. – 2021 / Ань Туан. Тоннель Кучи: «Подземный город» – Журнал путешествия. – 2021.
4. Nguyễn Đông. *Những kỹ sư đầu tiên làm hầm Hải Vân [nguồn điện tử]/ Нгуиэн Донг. Первые инженеры, построившие тоннель Хайван [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vnexpress.net/projects/nhung-ky-s-u-dau-tien-lam-ham-hai-van-4229341/index.html> (дата обращения 10.02.2021).*
5. Ngọc Thắng, Lê Huỳnh. *Hầm đường bộ Đèo Cù [nguồn điện tử]/ Нгок Тхань, Ле Хуинь. Автомобильный тоннель Деока [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://vnexpress.net/ham-duong-bo-qua-deo-ca-sau-hai-nam-khoi-cong-3089946.html> (дата обращения 07.10.2014).*
6. TCVN 5729:1997 «Tiêu chuẩn Việt Nam về đường ô tô cao tốc. Yêu cầu thiết kế»/ «Вьетнамский стандарт о автомагистралях. Требования проектирования»
7. Báo khoa học [nguồn điện tử]/ Журнал науки [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.khoahocphothong.com.vn/ham-thu-thiem-duoc-xay-dung-theo-phuong-phap-nao-310.html> (дата обращения 19.01.2005).
8. Phạm Văn Kỳ. *Thiết kế tuyến đường sắt đô thị - Nhà xuất bản xây dựng/ Фам Ван Ки. Проектирование городской железнодорожной системы. Учебник. – Издательство строительства, 2017. – 260 с.*
9. Lưu Đức Hải. *Quy hoạch không gian ngầm đô thị// Báo xây dựng. – 2021. – №3.*

Для связи с авторами

Лев Вениаминович Маковский
tunnels@list.ru
Виктор Валерьевич Кравченко
609vvv@gmail.com
Май Ван Лок
tunnels@list.ru
Нгуен Нгок Хан
tunnels@list.ru



**24 июня 2022 г. свое 80-летие отметил
Мартин Херренкнехт.**

Мартин Херренкнехт, почетный доктор технических наук, родился в небольшом немецком городе Лар, в земле Баден-Вюртемберг. Окончил государственное инженерное училище в Констанце. С 1964 по 1971 гг. работал инженером-конструктором и руководителем проектов на различных предприятиях в Швейцарии, Канаде и Германии. С 1971 по 1975 гг. был главным механиком

на строительстве туннеля Зеелисбергтуннель, Швейцария, где применялся на тот момент величайший в мире американский тоннелепроходческий щит Big John диаметром 11,8 м. Несовершенство технологии и конструкции ТПМК Мартин Херренкнехт хотел улучшить в своей собственной компании. И уже в 1975 г. он основал инженерное бюро, а в 1977 г. компанию Herrenknecht GmbH, преобразованную в 1998 г. в акционерное общество, в котором трудятся почти пять тысяч человек по всему миру.

Венцом своей работы д-р Херренкнехт считает строительство Готтардского базисного туннеля. Успешное завершение такого проекта, учитывая все его трудности (длина туннеля 2×57 км, геологические особенности), говорит о мировом классе в строительстве туннелей. Следующий крупный проект, 64-километровый Бреннерский базисный туннель, уже установил новый рекорд по длине – самая длинная подземная железнодорожная ветка в мире.

Мартин Херренкнехт был удостоен множества почетных премий, таких как медаль «За заслуги» земли Баден-Вюртемберг (2002), Федеральный крест «За заслуги» I степени (2007). Он также был отмечен почетными знаками ведущих технических университетов Германии (Технологического института Карлсруэ (KIT), Университета прикладных наук Оффенбурга), а в 2002 г. стал приглашенным профессором Горного института в Колорадо, США.

В 1988 г. в России появился первый тоннелепроходческий комплекс Herrenknecht для строительства Люблинско-Дмитровской линии в Москве совместно с фирмой «Вайс и Фрейтаг». С 1999 г. в России открылось дочернее предприятие ООО «Херренкнехт тоннельсервис». На сегодняшний день с помощью щитов Херренкнехт в России было построено свыше 250 км транспортных туннелей для метрополитенов, железных или автомобильных дорог. Больше 100 щитов малого диаметра для строительства коммунальных микротоннелей работают по всей стране.

В 2018 г. Мартин Херренкнехт был удостоен орденом Дружбы Российской Федерации за укрепление деловых отношений двух стран.

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

ТРАНСПОРТНОЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ РЕКУ ЛЕНУ В ЯКУТСКЕ

TRANSPORT CROSSING OVER THE LENA RIVER IN YAKUTSK

От редакции

Депутат Государственной Думы РФ от Республики Саха (Якутия) П. Р. Аммосов обратился в отделение «Транспортное строительство» Российской академии транспорта (РАТ) с целью рассмотреть возможные варианты проектирования и строительства транспортного сообщения через р. Лену с участием авторитетных специалистов в области мосто- и тоннелестроения. В настоящее время на условиях концессионного соглашения ведется проектирование мостового перехода силами компании АО «ВИС». 7 апреля 2022 г. на расширенном совещании в отделении «Транспортное строительство» РАТ с участием представителей Тоннельной ассоциации России было проведено обсуждение альтернативных предложений транспортных пересечений через реку Лену – мостового перехода по материалам из открытых источников, и альтернативного варианта, предложенного известным специалистом в области строительства тоннелей, руководителя строительства первой линии метрополитена в Нижнем Новгороде, почетного транспортного строителя Э. Б. Рубинчика.

Deputy of the State Duma of the Russian Federation from the Republic of Sakha (Yakutia) P. R. Ammosov appealed to the Department «Transport Construction» of the Russian Academy of Transport (RAT) to consider possible options for the design and construction of transport links across the Lena River with the participation of authoritative experts in the field of bridge construction and tunnel construction. Currently, on the terms of the concession agreement, the design of the bridge crossing is being carried out by the company JSC «VIS». On April 7, 2022, at an extended meeting in the department «Transport Construction» of the RAT with the participation of representatives of the Tunnel Association of Russia, a discussion was held on alternative proposals for transport crossings across the Lena River – a bridge crossing based on materials from open sources, and an alternative option proposed by a well-known specialist in the field of tunnel construction, the head of the construction of the first metro line in Nizhny Novgorod E. B. Rubinchik.

Вниманию читателей журнала предлагается в кратком изложении доклад Э. Б. Рубинчика и материалы обсуждения проблемы.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ВАРИАНТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ РЕКУ ЛЕНУ

AN ALTERNATIVE OPTION FOR DESIGNING

A TRANSPORT CROSSING OVER THE LENA RIVER

Э. Б. Рубинчик

E. B. Rubinchik

Предлагается альтернативное мостовому переходу первоочередное сооружение подводного железнодорожного однопутного подруслового тоннеля, с возможностью перевозки автотранспорта по оборудованной челночной схеме. Исходные данные для предложения получены из отраслевых открытых источников.

Республика Саха (Якутия) расположена в северо-восточной части Сибири. Климат в регионе резко-континентальный, отличается продолжительным зимним периодом и коротким летним. Минимальная температура периодически опускалась до -70°C , а суммарная продолжительность периода с отрицательной температурой составляет от 6,5 до 9 месяцев в году; абсолютный средний минимум температуры практически везде в республике ниже -50°C .

Толщина льда на реке Лене может достигать 2,5 м, а протяженность ледяных полей составляет до 25 км, что представляет серьезную угрозу для любых надземных и наземных искусственных сооружений. Протяженность заторного скопления льда может достигать 90 км, при этом подъем уровня воды достигает величины 5–6 м.

Важным фактором является наличие многолетнемерзлых пород, которые имеют сплошное распространение и мощность от 200 до 470 м.

Речные образования представлены русловым и пойменным аллювием. На затапливаемых во время паводков береговых участках встречаются террасовидные эрозионно-аккумулятивные уступы высотой до 1 м, сложенные аллювиальными песчано-гравийно-галечниковыми отложениями, ниже кото-

рых залегают мелкозернистые песчаники с прослойками песчаных алевритов и, в ряде случаев, каменного угля.

Район г. Якутска является областью повышенной сейсмической опасности с максимальной интенсивностью до 8 баллов по шкале MSK-64.

Сейсмическая активность инициирует такие геологические процессы, как оползни, осыпи, сели и т. д. На Кангаласском уступе в 2001 г. произошел крупный оползень, при этом объем обрушившейся массы коренных пород составил около 37 тыс. м³, в результате чего откос приобрел ступенчатую форму. В 2004 г. произошел мощный селевой вынос по склону Табагинского уступа; на пути потока были снесены все деревья и образовались значительные эрозионные провалы, а объем грунто-

вой массы, вынесенной селом, составил около 47 тыс. м³.

На этих участках обнаружено наличие сквозных таликовых зон под руслом р. Лены, по которым осуществляется гидравлическая связь поверхностных вод реки с напорными подмерзлотными водами Лено-Вилуйского бассейна. Подрусловый талик на Табагинском и Кангаласском участках имеет вертикальные границы, по которым происходит смена мерзлых пород на талые обводненные и сейсмически неустойчивые отложения. Нисходящая фильтрация речных вод происходит в подмерзлотные водоносные горизонты. Фильтрация из подрусловой таликовой зоны может привести к вымыванию талого грунта из-под основания инженерных сооружений, мостовых опор и т. д., что представляет высокую степень опасности.

Для Республики Саха (Якутия) характерно слабое развитие железнодорожной и автомобильной сети. Регулярная автомобильная связь с другими регионами России осуществляется по автодороге «Лена».

Ранее уже предполагалось соединить автомобильную и железнодорожную сеть на левом берегу реки с федеральной трассой А-360, а также соединить железную дорогу с конечной станцией Нижний Бестях Амуро-Якутской магистрали, находящейся на правом берегу в 30 км от Якутска.

Для решения транспортной проблемы в республике предусмотрено строительство моста через реку Лену длиной 3 км, со створом, расположенным на 38 км южнее г. Якутска. Ориентировочная стоимость реализации данного проекта, известная из открытых источников, составляет в текущих ценах более 124 млрд руб.

К сожалению, при выборе варианта перехода через реку Лену не был рассмотрен альтернативный вариант сооружения подводного автомобильного тоннеля, необходимый для объективного сравнения.

Основные недостатки проекта мостового перехода следующие.

1. При строительстве в зоне повышенной сейсмической активности СНиП согласно СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» для обеспечения безопасности мостового перехода необходимо выполнить 39 дополнительных мероприятий, значительно усложняющих сооружение и повышающих его стоимость. Особую опасность представляет активизация оползневых и суффозионных процессов. При сейсмических колебаниях возможно трещинообразование в свайных основаниях с последующей коррозией армокаркаса. Необходима высококачественная защита от коррозии металлических частей моста на весь период эксплуатации.

2. Висячие и вантовые системы не обеспечивают нормативные упругие прогибы пролётных строений для организации железнодорожного движения, вычисленные при действии подвижной временной вертикальной нагрузки в соответствии с российскими нормативами.



Рис. 1. Схема проектируемого автомобильного тоннеля

3. В условиях крайне низких температур изменяется работа металлоконструкций и тросовых вантов мостового перехода, что делает эксплуатацию моста весьма опасной.

4. Обледенение проезжей части и сильные ветра также осложняют эксплуатацию моста в продолжительный зимний период.

5. Ледяные заторы длиной до 90 км и навал льда толщиной до 2,5 м на мостовые опоры также негативно влияют на конструкции моста и могут создавать аварийную обстановку.

6. Возникает возможность столкновения судов и прочих плавучих средств с конструкциями моста, что негативно сказывается на безопасности судоходства.

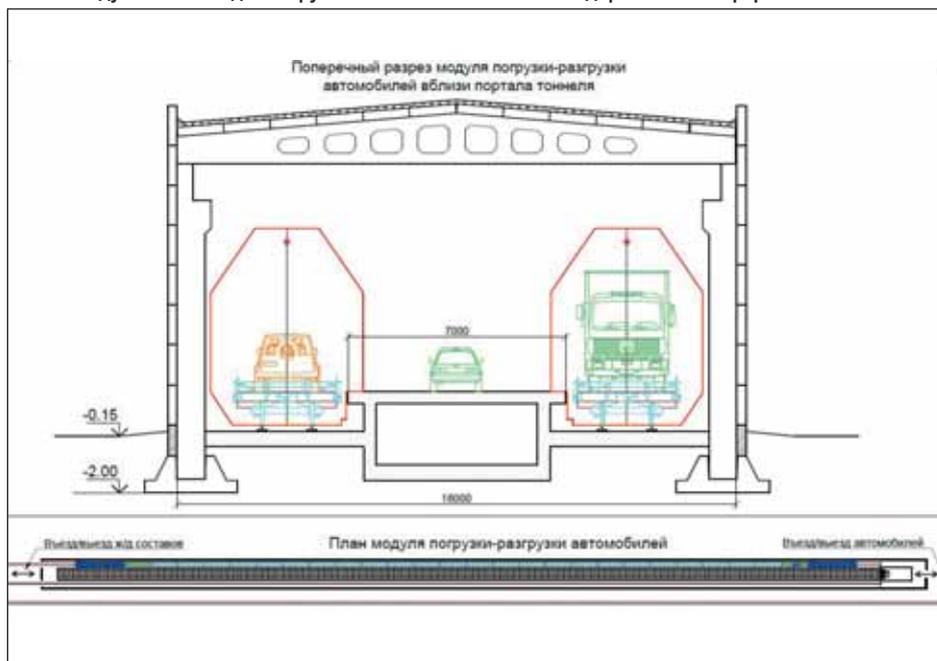
7. Имеется серьезная зависимость производства работ от погодных условий.

8. Строительство мостового перехода окажет негативное влияние на экологическую обстановку, состояние биоресурсов и охраняемых пород рыб.

9. Мостовой переход (как и тоннельный) является стратегическим объектом, но он, в отличие от тоннельного, значительно менее защищен от террористического и военного нападения и потребует реализации серьезных дополнительных мероприятий для обеспечения безопасности.

10. При строительстве такого рода уникальных сооружений необходимо проведе-

Рис. 2. Модульный блок для погрузки автомобилей на железнодорожные платформы



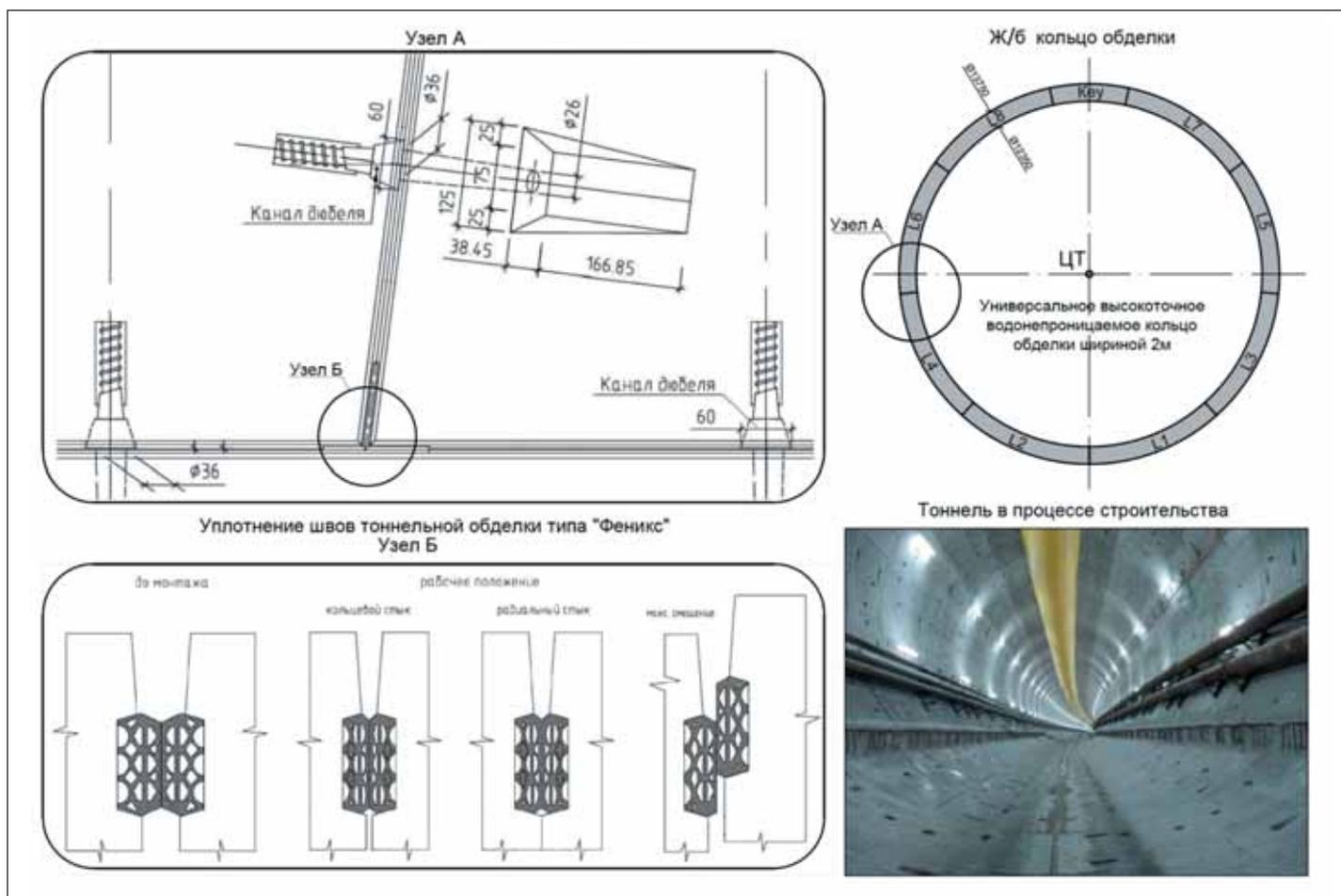


Рис. 3. Конструкция тоннельной обделки

ние независимой экспертизы проекта (чего в настоящее время не имеется).

В качестве альтернативного варианта предлагается сооружение подводного однопутного железнодорожного подрулового тоннеля, со створом, расположенным на 80 км южнее г. Якутска (рис. 1).

В связи с невысоким объемом грузовых и пассажирских перевозок, однопутный тоннель обеспечит все имеющиеся железнодорожные перевозки, а при организации челночной перевозки автотранспорта на платформах двумя составами сможет перевезти более 2000 автомобилей в сутки, что вполне достаточно для обеспечения всех существующих и перспективных потребностей. В непосредственной близости от порталов тоннеля сооружаются закрытые модули длиной 570 м для въезда и выезда автомобилей на железнодорожные платформы аналогично решению, выполненному под проливом Ла-Манш (рис. 2).

Железнодорожный путь на правом берегу реки Лена подключается к станции Кердём Амуро-Якутской магистрали, расположенной на 70 км южнее конечной станции Нижний Бестях, а на левом берегу – к вновь сооружаемой железнодорожной сети, проложенной от города Якутск.

В случае значительного увеличения объема перевозок, возможно строительство автотрассового тоннеля, створ которого можно расположить в 50 м параллельно.

Тоннель выполняется с помощью современного тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) с активным гидропригрузом и высокоточной железобетонной водонепроницаемой обделкой внутренним диаметром 9600 мм, наружным диаметром 10500 мм, с толщиной обделки 450 мм.

Современные проходческие комплексы большого диаметра успешно применяются при проходке двухпутных тоннелей метрополитена и транспортных тоннелей в Москве и Санкт-Петербурге. Постоянной конструкцией является высокоточная железобетонная водонепроницаемая замкнутая кольцевая тоннельная обделка со связями. Уплотнение стыков предусмотрено упругими элементами, например из неопреновых каучуков типа «Феникс». Гидроизоляция в условиях высокой сейсмичности обеспечивается абсолютно надежно и хорошо зарекомендовала себя в мировой практике тоннелестроения. При этом выполняется требование норматива, где швы обделки являются деформационными, обеспечивающие возможность смещения элементов обделки и сохранения надежной гидроизоляции (рис. 3).

Монтажной и демонтажной камерами служат рамповые части тоннеля, выполненные с ограждением по технологии «стена в грунте».

Расположение порталов тоннелей выбрано с учетом минимальной длины проходки

и фактических высотных отметок береговых участков местности (рис. 4).

На имеющемся в русле реки Лены острове (пикет 17 на рис. 4), расположенном по трассе тоннеля, выполняется аварийный выход, вентиляционная камера, а на поверхность выводится два вентиляционных для притока и вытяжки. Аналогичные камеры выполняются в рамповых частях. Предлагаемый комплекс вентиляционных систем обеспечит необходимое проветривание и дымоудаление при возможной нештатной ситуации.

На каждом портале тоннеля устраивается тепловая завеса и устанавливается «затвор» с возможностью надежного герметичного перекрытия тоннеля.

Работа по проходке тоннеля выполняется непрерывно под землей круглый год. Производство работ и его дальнейшая эксплуатация не зависят от погодных условий, не нарушают экологическую обстановку, не наносят вред биоресурсам и рыбному хозяйству региона. Сечение тоннеля (рис. 5) позволяет обеспечить все требования СП122.13330.2012 для обеспечения безопасной эксплуатации: приточно-вытяжная вентиляция, водоотлив, система дымоудаления, позволяющая производить откачку дыма непосредственно из очага, а также тамбур-шлюзы с шагом 300 м для перемещения людей в эвакуационный тоннель с последующей транспортировкой шахтными пассажирскими вагонами и дизельвозами оборудованными нейтрализаторами. В эваку-

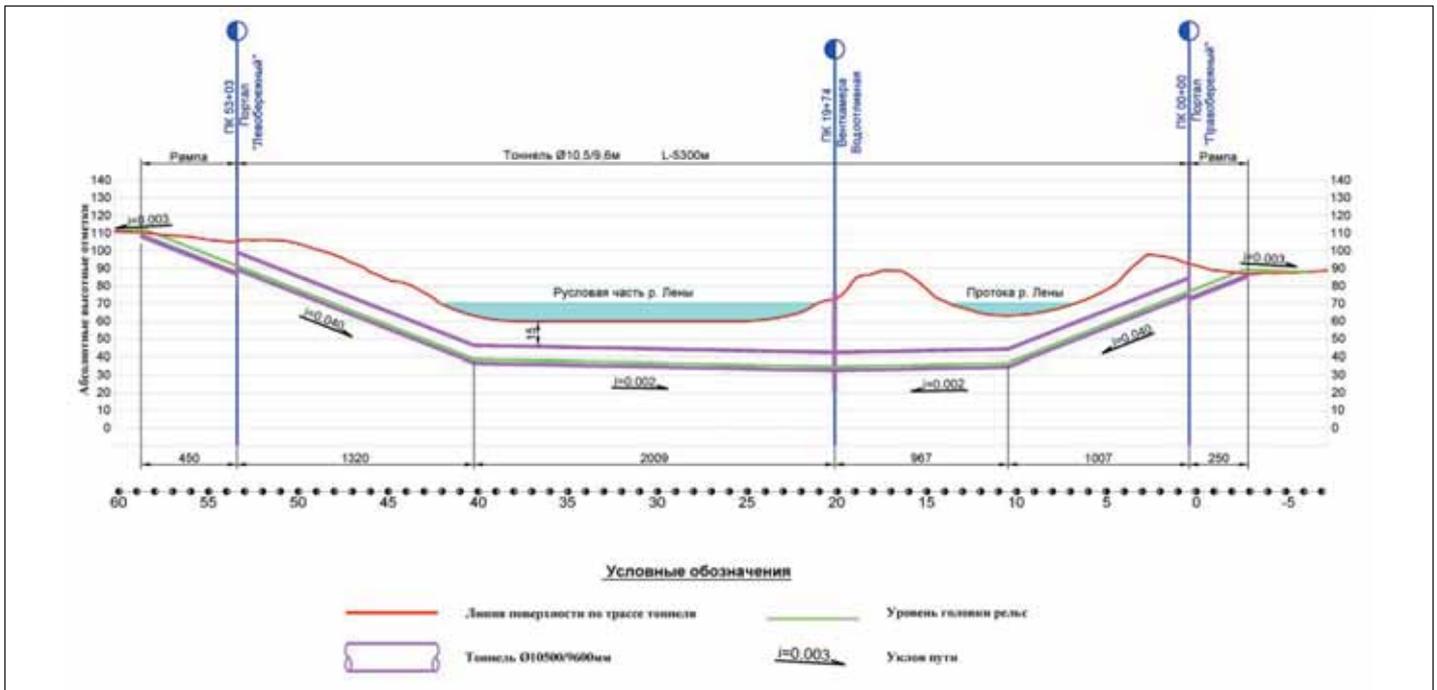


Рис. 4. Продольный профиль туннеля

ационном туннеле выполняется автономная система вентиляции с возможностью организации подпора.

В целях безопасности дизельвозы и вагоны для перевозки людей постоянно размещаются в зоне порталов туннеля. Система безопасности выполнена автономно в объеме одного туннеля и не требует соединительных сбоек, сооружаемых с применением спецметодов, не дающих полной гарантии безопасности для выхода за предел туннельной обделки, что чрезвычайно опасно в процессе производства работ, в условиях недостаточной изученности гидрогеологии под руслом реки Лены.

Рамповые части туннеля перекрываются, и в них размещаются технические помещения, необходимые для эксплуатации туннеля. Ограждение рамповых частей производится методом «стена в грунте».

Длина туннеля не превышает 5300 м и имеет две рамповые части: 450 и 250 м.

Рекомендованная максимальная скорость движения по туннелю составляет 80 км/ч.

Энергоснабжение туннеля осуществляется от двух независимых источников питания. Электростанция предполагается расположить на перекрытии порталов и оборудовать трансформаторами для питания вентиляционных установок, освещения, водоотлива и прочих собственных нужд.

В туннеле и в припортальных участках расположены медицинские пункты.

Водоотливные установки находятся в самой низкой точке трассы, а также у каждого портала. Отведение сточных вод из водоотливных установок производится через очистные сооружения. Водосборник главной водоотливной установки располагается в самой низкой точке трассы.

На порталах располагаются: санитарно-бытовые помещения; охрана; эвакуационные выходы; герметические двери, перекры-

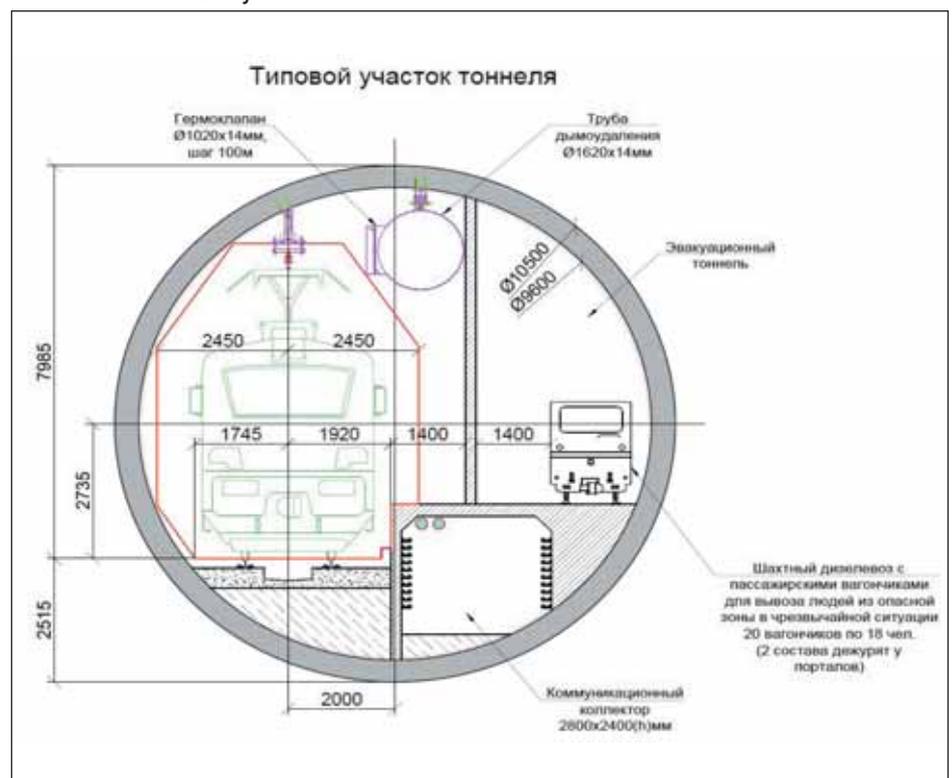
вающие, при необходимости, туннель; аварийно-спасательные службы. Туннель оборудуется инженерно-сейсмометрическими станциями, системами видеоконтроля, системой пожаротушения, системами обеспечения безопасности дорожного движения, громкоговорящего оповещения и телефонной связи, системами газоанализа воздушной среды, системой антиобледенения. Информация о работе всех систем передается в центральный диспетчерский пункт.

Туннельный подруслевой переход по сравнению с мостовым обеспечивает высо-

кую стратегическую безопасность, сооружается в меньшие сроки, имеет более низкую стоимость как строительства, так и эксплуатации. Ориентировочный срок строительства одним ТПМК, с учетом первоочередных и подготовительных работ, составит не более трех лет. Стоимость строительства в текущих ценах порядка 50–60 млрд руб.

Сопоставительный анализ проектов строительства моста и туннеля с учетом всех факторов, по моему мнению, покажет преимущество туннельного варианта. Однако для объективного сравнения вариантов не-

Рис. 5. Сечение типового участка туннеля



обходимо разработать Техническое задание и ТЭО тоннельного перехода, для чего требуется выделение необходимых средств.

Редакция считает полезным ознакомить читателей с мнениями специалистов совещания – известных специалистов транспортного строительства по рассматриваемой проблеме

Е. В. Басин, академик РАТ, доктор экономических наук (*дистанционно*). В своем отзыве отметил, что принятие безальтернативного решения по строительству моста через р. Лена, тем более вантового, в экстремальных условиях Якутии недопустимо по следующим причинам: отсутствие отечественных вантовых конструкций, в то время как на зарубежные наложены санкции; эксплуатация моста в более щадящих климатических условиях на острове Русский во Владивостоке выявила ряд крупных недостатков, связанных с обледенением вант; толщина льда на р. Лене до 2,5 м и протяженность ледяных полей до 25 км создают серьезную угрозу для любых надземных и наземных искусственных сооружений; опоры моста, расположенные в русле реки, неизбежно приведут к нарушению природной модели работы реки и необходимости выполнения ежегодного эксплуатационного землечерпания и будут сопровождаться большими затратами при дноуглубительных работах для обеспечения безопасности судоходства; неблагоприятные условия проведения строительно-монтажных работ в весенний и зимний периоды неизбежно увеличат сроки строительства. В то же время вариант тоннельного сообщения имеет целый ряд преимуществ: наличие опыта работы отечественных тоннелестроителей в аналогичных условиях Севера (Северомурский, Кадарский тоннели на Байкало-Амурской магистрали); возможность использования имеющихся в стране отечественных высокопроизводительных тоннелепроходческих комплексов; возможность непрерывного производства строительно-монтажных работ независимо от погодных условий и времени года; отсутствие негативного воздействия на условия судоходства по реке и минимальное – на окружающую среду, и, как следствие, сокращение эксплуатационных затрат; возможность использования чугунных тубингов вместо железобетонных, что является существенным аргументом в условиях эмбарго на металл; сокращение сроков и стоимости строительства объекта.

Вывод: убежден, что проведение сравнительных расчетов мостового и тоннельного вариантов выявит преимущество тоннельного варианта строительства перехода через р. Лену.

Г. Л. Борода, академик РАТ, кандидат технических наук. Отметил, что предварительные оценки Э. Б. Рубинчика свидетельствуют о конкурентоспособности тоннельного варианта по стоимости, но не могут служить базой для сравнения, поскольку на данном этапе полнота учета всех затрат не подтверждена. Вместе с тем, даже вывод о конкурен-

тоспособности имеет большую ценность, так как факт разработки проекта моста и его проверки экспертизой (если это так) может свидетельствовать о том, что вариант тоннеля при этом не рассматривался. Учитывая нынешнюю ситуацию в стране и в мире, если будет признано целесообразным реализовать проект строительства транспортного перехода, необходимо провести сравнение двух вариантов строительства.

Ш. Н. Валиев, кандидат технических наук. Акцентировал внимание на том, что мост является частью городских артерий и поскольку современные технологии позволяют строить мосты в любых климатических условиях, в т. ч. в северных широтах, поддержал вариант строительства мостового перехода вантовой конструкции, обосновав свой выбор возможностью выпуска вантовых конструкций на одном из отечественных предприятий; при этом не смог ответить на вопрос – какое из российских предприятий способно в настоящее время осуществить гарантированное их производство.

Ю. Э. Васильев, академик РАТ, доктор технических наук. По его мнению, а также мнению участвовавшего в обсуждении *дистанционно* **Э. В. Котлярского**, академика РАТ, доктора технических наук, при строительстве вантового моста возможны следующие проблемы: отсутствие отечественных вант; отсутствие в мире вант, испытанных при температуре ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ при абсолютном зарегистрированном минимуме температуре в г. Якутск минус $64,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; при годовых колебаниях температуры в пределах $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, длина вант изменится примерно на 1,5 м. Исходя из сказанного, переход через р. Лену следует реализовывать в тоннельном варианте.

Х. А. Джантимиров, кандидат технических наук. Тоннельный вариант комбинированного железнодорожного и автомобильного перехода разработан до стадии предпроектного предложения. Представленный тоннельный вариант перехода обладает рядом новаторских отличительных особенностей, в частности, возможностью выполнять в одном тоннеле перевозку различных грузов и автотранспорта на железнодорожных платформах с применением электрической тяги. Учитывая реальную обстановку в мире, необходимо выделить возможность минимизировать зависимость от импортных материалов и оборудования, которая, безусловно, предпочтительна при тоннельном варианте. Сроки его строительства значительно меньше, зависимость от погодных условий ниже, безопасность эксплуатации выше, перспективы увеличения грузооборота – вот далеко не все преимущества тоннельного варианта. Для принятия обоснованного решения по выбору оптимального варианта сооружения следует разработать научно обоснованную Концепцию, на базе которой можно будет сделать окончательный выбор. Моя экспертная оценка на стороне тоннельного варианта. Необходимо обратиться в Правительство РФ с предложением изыскать сред-

ства для финансирования затрат разработчикам Концепции, после чего просить автора идеи Э. Б. Рубинчика представить Концепцию Техническому совету Российской академии транспорта.

И. Я. Дорман, академик РАЕН, доктор технических наук, профессор, **С. В. Мазенин**, доктор технических наук. Оба варианта (тоннельное пересечение и мостовое сооружение) имеют право на существование. В стоимостном выражении, как свидетельствует мировой опыт, мостовой вариант несоизмеримо дороже и более трудоемок при эксплуатации в суровых климатических условиях. Представленный Э. Б. Рубинчиком аргументированный и тщательно проработанный вариант строительства тоннеля убедительно показывает, что даже на базе выполненных за последние десятилетия исследований, материалов инженерно-геологических изысканий, накопленного опыта изучения мерзлотно-грунтовых, гидрологических, сейсмических, климатических и других особенностей, определяющих условия сооружения и эксплуатации транспортного перехода через р. Лену в районе г. Якутска, и принимая во внимание имеющиеся проектные и предпроектные проработки, а также результаты проведенных по ним государственной и независимой экспертизам, можно незамедлительно приступить к практической реализации проектирования тоннеля через р. Лена. По нашему мнению, по условиям эксплуатации, охраны окружающей среды, рыбоводства и судоходства, сейсмостойкости и стратегической защищенности, тоннельный вариант пересечения реки представляется более целесообразным по сравнению с мостовым вариантом.

А. В. Дорохов, генеральный директор ООО «Центр-Дормост». Проектирование и строительство вантового моста в условиях Якутска нецелесообразно и даже опасно. В условиях эксплуатации при таких перепадах температур потребуются уникальная система подогрева вант, сбой работы которой может привести к аварийной ситуации. Немаловажно и то, что в России отсутствует производитель, готовый обеспечить и гарантировать необходимые характеристики подобных вантовых систем для столь уникального сооружения. Вместе с тем, устройство тоннеля также имеет свои недостатки, в частности, систему замораживания грунтов во время проходки и при эксплуатации. По моему мнению, наиболее целесообразным является строительство моста арочной или комбинированной конструкций с пролетами до 600–700 м.

В. А. Ильичев, доктор технических наук, профессор, вице-президент Российской академии архитектуры и строительных наук по инновациям, президент Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению (РОМГиФ). Предложенная Э. Б. Рубинчиком конструкция однопутного железнодорожного тоннеля обладает новизной и имеет множество преимуществ,

в т. ч. позволяет на грузовых платформах перевозить автотранспорт, т. е. тоннель решает проблему транспорта двух видов; тоннель имеет систему эвакуации в случае чрезвычайных ситуаций, поэтому не нуждается в сервисном тоннеле, что предопределяет отсутствие сбоек между тоннелями и повышает живучесть сооружения в сложнейших геологических, сейсмических и мерзлотных условиях; тоннель имеет длину около 5 км и его ориентировочная стоимость по аналогам составляет 50 млрд руб.; срок строительства тоннеля намного меньше в сравнении со строительством моста; работа тоннелепроходческого комплекса не зависит от климатических условий; проектирование тоннеля можно вести параллельно с инженерно-геологическими изысканиями; и самое главное – тоннель решает транспортную проблему Якутска с большим запасом на годы вперед. Таким образом, я отдаю предпочтение тоннельному варианту.

А. Л. Исаков, академик РАН, доктор технических наук, **К. В. Королев** доктор технических наук, профессор, **Г. Н. Полякин**, кандидат технических наук, доцент (*дистанционно*). Сформулировали основные технико-экономические преимущества строительства в районе г. Якутска подводного тоннеля по сравнению с мостовым переходом, которые заключаются в следующем: отсутствие искусственных помех для пропуска ледохода и борьбы с образованием затворов льда в различных местах водотока; обеспечение бесперебойного и круглогодичного железнодорожного и автомобильного сообщения на участке пересечения водотока; снижение трудозатрат на текущее содержание тоннеля и более высокий уровень эксплуатационной надежности сооружения в условиях сурового климата; сохранение существующего характера акватории и условий судовождения; исключение негативного влияния паводков, мощных ледоходов и турбулентных потоков воды на устойчивость опор и положение русла. Целесообразность строительства подводного тоннеля взамен мостового перехода через р. Лену неоднократно высказывалась Сибирским отделением Тоннельной ассоциации России, что подтверждено заключениями Научно-технического экспертно-консультационного Совета Санкт-Петербургского регионального отделения Тоннельной ассоциации России и Института мерзлотоведения СО РАН. Таким образом, тоннельный вариант наиболее полно решает цели и основные задачи Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России». По сравнению с мостовым переходом, тоннельный вариант обеспечивает более высокие темпы возведения (не зависящие от времени года), минимальные воздействия на окружающую среду, надежность и непрерывность эксплуатации в условиях сезонных перепадов температур, высоких паводков и изменения геокриологической обстановки.

В. Н. Колодезников, директор филиала проектного института «Якутгражданпроект» в г. Нерюнгри – как коренной житель Республики Саха (Якутия) и профессиональный строитель отметил следующее:

- в климатических условиях Якутии, при годовых перепадах температуры наружного воздуха до 100 °С вантовые металлические конструкции моста протяженностью пролетов более 800 м будут неизбежно подвергаться критическим температурным линейным расширениям. При этом разные элементы конструкций моста будут иметь различное линейное расширение, что может привести к перераспределению критических нагрузок в отдельных узлах вантовых конструкций;

- устройство опор моста в русле реки несомненно приведет к заторам во время ледохода и изменит геометрию русла реки, а, кроме того, будет наблюдаться неконтролируемый намыв фарватера реки песком, что потребует проведения ежегодных дорогостоящих работ по углублению фарватера;

- проблемы по обледенению вантовых конструкций, с которыми пришлось столкнуться при эксплуатации моста на острове Русский, возникнут и на Ленском мосту, однако они будут гораздо серьезнее вследствие климатических условий при эксплуатации сооружения в Якутске;

- в России отсутствуют предприятия с опытом работы по изготовлению таких уникальных вантовых конструкций.

С учетом политической ситуации в стране и того, что поставка вант из-за рубежа проблематична вследствие санкций, введенных недружественными государствами в отношении России, тоннельный переход выглядит намного предпочтительнее; к тому же этот способ пересечения реки намного безопаснее, а по стоимости дешевле, чем мостовой переход из вантовых конструкций.

В. Н. Мазур, генеральный директор ЗАО «Транссахамост» (*дистанционно*). В своем письменном сообщении указал на то, что выбранный створ мостового перехода находится в зоне сейсмического разлома, о чем ранее предупреждал ученый-сейсмолог А. Ф. Петров. Кроме того, вышеуказанный створ небезопасен с экологической точки зрения, исходя из научных понятий силы и ускорения Кориолиса, а также закона Бэра о меридианном течении рек (приведу примеры размыва правого берега Лены в этом створе – так, когда в 1998 г. мы в указанном месте по моей технологии сооружали сталеледяной мост, ширина реки была 1650 м, тогда как в 2019 г. она составила уже 2250 м, что явно говорит о предпочтении тоннеля, при котором подобное явление было бы невозможно). Проект вантового моста с опорами в русле, где одна из них расположена вблизи фарватера, неизбежно приведет к нарушению природной модели реки и к огромным ежегодным дноуглубительным работам в целях сохранения функционирования Северного морского пути;

кроме того, такая конструкция создает и высокую уязвимость и нецелесообразна с точки зрения безопасности страны. Надеюсь на здравый смысл и предлагаю исключительно тоннельный вариант транспортного перехода через реку Лену.

Л. В. Маковский, кандидат технических наук (*дистанционно*). В своем отзыве отметил, что, изучив возможные варианты строительства перехода, отдает предпочтение транспортному тоннелю, основные преимущества которого перед мостом заключаются в круглогодичной защищенности транспортных средств от погодных условий и других внешних воздействий (включая возможные теракты). В исключении трудностей при судоходстве в процессе строительства и эксплуатации, в лучшей адаптации при землетрясениях. В качестве рекомендации высказал пожелание вести проходку подводного тоннеля с минимальными нарушениями поверхностных условий, используя современные тоннелепроходческие комплексы (ТПМК), в состав которых входят механизированные щиты с бентонитовым или грунтовыми пригрузом забоя. Вместе с тем отметил, что при сравнении мостового и тоннельного вариантов должны быть учтены такие важные факторы, как топографические условия местности, характер береговой планировки и застройки, ширина и глубина водного препятствия, инженерно-геологические, гидрологические и погодные климатические условия, уровень сейсмической активности в данном районе и др.

В. Е. Меркин, академик РАН, доктор технических наук, профессор. Отметил, что наиболее предпочтительным видом транспортного перехода считает тоннельный вариант пересечения, о чем неоднократно заявлял начиная с 2011 г. на различных площадках, включая государственные инстанции, где рассматривался этот вопрос. Основные аргументы: отсутствие какого-либо воздействия на условия судоходства по реке и минимальное – на окружающую среду; возможность нормальной эксплуатации сооружения и, соответственно, существенно меньшие по сравнению с мостовым вариантом эксплуатационные затраты, независимо от погодных условий и ледовой обстановки; гораздо меньшая по сравнению с мостовым вариантом уязвимость сооружения от сейсмических и иных динамических воздействий; повышенная сейсмостойкость; наличие в России оборудования и кадров, а также опыта строительства и эксплуатации, в том числе в суровых климатических условиях и под водными преградами, протяженных железнодорожных тоннелей, включая Нагорный, Кадарский, Дуссе-Алиньский на БАМе. Надо особо отметить, что обводненные и неустойчивые грунты в практике отечественного метростроения более 80 лет успешно преодолеваются с применением метода искусственного замораживания при сооружении практически всех наклонных эскалаторных тоннелей и вертикальных шахтных стволов

на территории бывшего СССР. Этот метод хорошо изучен, освоен и при его грамотном применении риски нештатных ситуаций минимальны как в период строительства, так и при эксплуатации. Кроме того, тоннельное пересечение представляется безальтернативным при невозможности устройства вантового моста с пролетом, исключаящим помехи судоходству и опасность разрушения опор при образовании ледяных заторов. Вывод: наиболее предпочтительным представляется предложенный Э. Б. Рубинчиком вариант однопутного железнодорожного тоннеля с перемещением автомобилей на платформах (по типу организации железнодорожных и автодорожных перевозок в тоннеле через пролив Ла-Манш), сооружаемого тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) с активным пригрузом забоя и сборной водонепроницаемой железобетонной обделкой. Считаю, что на 1-м этапе эксплуатации перехода будет достаточно одного тоннеля, предусмотрев примерно через 700 м усиленную обделку с искусственно закрепленным окружающим массивом для возможности в дальнейшем устройства эвакуационных сбоек, при необходимости иметь второй тоннель. Учитывая разработку технической документации по варианту мостового перехода, для корректного сравнения с ним или с его актуализированной версией, необходимо разработать соответствующее ТЭО тоннельного варианта. Задание на разработку ТЭО тоннельного варианта должно включать информацию: о назначении перехода (железнодорожный, совмещенный с автомобильным движением или совмещенный с автомобильным и пешеходным), интенсивности железнодорожного и автодорожного движения, составы железно- и автодорожных транспортных потоков; категории железной и автомобильной дорог; тип тяги на железнодорожном участке перехода и т. п.; актуализированные инженерно-геологические, гидрогеологические и климатические данные, оценка заторообразования, характеристики и границы участков вечномерзлых и сезонномерзлых грунтов и т. п.; директивные сроки и стоимость строительства; возможность очередности ввода в эксплуатацию отдельных объектов перехода (пусковых комплексов); точки примыкания к существующей железной дороге и в г. Якутск.

А. Н. Панкратенко, доктор технических наук, профессор. В своем выступлении поддержал предложение Э. Б. Рубинчика, отметив, что однопутный транспортный тоннель обеспечит не только все ожидаемые объемы железнодорожных перевозок, но и позволит перевезти более 2000 автомобилей в сутки по принципу челночного перемещения автотранспорта, для чего рядом с порталами тоннеля планируется построить закрытые модули длиной 500–600 м для въезда и съезда автотранспорта на железнодорожные платформы. Кроме того, представленный вариант строительства транс-

портного перехода значительно дешевле мостового сооружения и более привлекателен с точки зрения его сроков строительства, поскольку не будет зависеть от климатических условий и практически не окажет влияния на экологическую обстановку в районе расположения тоннелей.

А. А. Пискунов, Е. Н. Курбачкий, доктора технических наук, профессора. В своих выступлениях отметили, что вариант тоннельного железнодорожного перехода через р. Лену заслуживает внимания и одобрения, поскольку решает проблему не только железнодорожных перевозок грузов, но и автомобильного транспорта. Вместе с тем, в связи с отсутствием аналогов строительства подземных переходов в условиях Якутска, вариант требует должной проработки на уровне инженерных изысканий, а также необходимых исследований с точки зрения воздействия природных и техногенных явлений как на тоннель, так и самого тоннеля на окружающий массив и район строительства объекта.

Их выводы поддержала **Т. В. Шепитько**, доктор технических наук, участвовавшая в обсуждении *дистанционно*.

В. Ю. Поляков, доктор технических наук. В случае принятия решения о строительстве железнодорожного перехода возможен тоннельный вариант пересечения через реку Лену, поскольку этот способ пересечения водной преграды не потребует устройства опор, затрудняющих судоходство и препятствующих ледоходу со значительной толщиной льда. При варианте, предусматривающем только автомобильное пересечение с протяженными пролетами мостовых конструкций, возможно строительство моста с большими пролетами, снижающими вероятность возникновения ледовых заторов. Заключение о применении того или иного варианта транспортного перехода следует принимать только после квалифицированного и тщательного сопоставления двух вариантов строительства на стадии ТЭО.

Ф. М. Ривкин, доктор геолого-минералогических наук. Вариант строительства железнодорожного тоннеля через р. Лену, предложенный Э. Б. Рубинчиком, по целому комплексу природных и социально-экономических аспектов является более предпочтительным по сравнению с мостовым переходом. Однако учитывая сложность и существенную дифференцированность геологических, инженерно-геокриологических и гидрогеологических условий долины р. Лены следует уделить повышенное внимание изысканиям наиболее удобного створа перехода, выполнить детальные инженерно-геокриологические исследования в составе комплексных инженерных изысканий с проведением необходимых геокриологических и гидрогеологических исследований, уделить особое внимание прогнозу и анализу взаимодействия объекта с многолетнемерзлыми породами и влияния строительства на направленность и дина-

мику развития опасных природных (экзогенных и геологических) процессов и образований, а также уже на первом этапе сформировать систему научно-информационного сопровождения проекта, предусмотреть выполнение фоновых и геотехнического мониторинга на всех стадиях реализации проекта (изыскания, строительство, эксплуатация).

А. Э. Сандуковский, заслуженный строитель Российской Федерации. Отметил, что, по его мнению, наиболее оптимальным вариантом является проектирование и строительство железнодорожного тоннельного перехода через р. Лену диаметром 10 м с инфраструктурой перевозки автотранспорта на низкопольных железнодорожных платформах системы «Ла-Манш», предложенный Э. Б. Рубинчиком. Сооружение мостового перехода балочного или арочного типов приведет к заужению русла Лены и спровоцирует образование ледяных заторов и подтопление населенных пунктов, расположенных выше г. Якутска, равно как и самого Якутска. При этом строительство предлагаемого вантового моста исключает его использование в качестве железнодорожного перехода. Отдельно подчеркнул, что в мировой практике мостостроения отсутствуют вантовые конструкции, стабильно работающие при перепадах температур от +40 до –60 °С. При этом очевидным плюсом тоннельного варианта является возможность выполнить проходку на большой глубине в однородных по сейсмической жесткости грунтовых массивах, что более сейсмостойчиво. Кроме того, тоннельный вариант имеет более высокую степень защищенности от природных явлений (сезонные колебания температур, ледоход, волнение), а также значительно менее затратен по сравнению с мостовым переходом.

И. Я. Харченко, академик РАН, доктор технических наук. При анализе двух вариантов строительства транспортного перехода через р. Лена предлагаемая Э. Б. Рубинчиком концепция устройства тоннельного железнодорожного перехода заслуживает дальнейшего рассмотрения и изучения, поскольку предусматривает совмещение грузопассажирских перевозок железнодорожным и автомобильным транспортом. В сравнении с мостовым переходом данный вариант видится более целесообразным и надежным техническим решением с точки зрения эксплуатации сооружения. С целью более глубокой проработки названного варианта, предложил обратиться в Правительство Российской Федерации за необходимым финансированием, на основе которого сформировать рабочую группу с привлечением ведущих специалистов в области мерзлотоведения, гидрогеологии, геофизики, тоннельного, мостового и специального строительства для принятия оптимального технического и экономически обоснованного решения варианта трассы и конструкции перехода через реку Лену.