

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. Курбацкий, 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

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71

127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,

оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

Генеральный директор

О. С. Власов

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов журнала только с письменного разрешения издательства

© ООО «Метро и тоннели», 2020

Строительство метро

Счастлиное число для недвижимой красоты ООО «ИБТ» 4

Больше чем бизнес 8

С. А. Жуков

Бакинскому метрострою 70 лет 10

Ш. К. Эфендиев, А. М. Алиев

Строительство метро в Петербурге не останавливается 14

Сбойка двух столиц 16

Уникальный проект

Первый этап строительства тоннелей

Чортановцы (Республика Сербия) пройден 18

ВМ-технологии для тоннелей

ВМ-модель метро на базе лазерного сканирования.

Создание актуальной модели подземных сооружений в ПО Autodesk 20

И. Я. Дорман

Тоннельная обделка

Анализ статической работы сборной обделки

многофункционального тоннеля большого

диаметра методом конечных элементов

в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга 22

А. П. Ледяев, В. Н. Кавказский, Т. В. Иванес

Архитектура метрополитена

Архитектура современных

станций Петербургского метрополитена 27

Д. А. Бойцов

Освоение подземного пространства

Современные подходы организации безбарьерной

среды в подземных общественных пространствах 30

В. А. Першин

Новые методики

Комплексные решения при применении технологии

компенсационного нагнетания 32

А. К. Нефедьева, А. П. Нефедьев,

М. И. Баженов, А. В. Александров, В. А. Алексеев

Шахтное строительство

Гидроизоляция комбинированной чугунно-бетонной крепи 34

Е. В. Колонтаевский, А. А. Мишедченко

Новый прорыв в технологии проходки шахтных стволов 42

П. Г. Есауленко

Партнеры Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой



СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Котлован станции «Зюзино» Московского метрополитена (с. 4)

Уважаемые коллеги!
Дорогие ветераны строительной отрасли!

От всей души поздравляем вас
С ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ ПРАЗДНИКОМ – ДНЕМ СТРОИТЕЛЯ!

Во все времена профессия строителя пользовалась в народе заслуженным уважением. Это вы своим вдохновенным трудом возводите жилые комплексы и промышленные предприятия, школы и больницы, строите мосты и тоннели, прокладываете магистрали и коммуникации, создаете архитектурный облик городов. Сердечное спасибо за ваш труд. От всего сердца желаем вам крепкого здоровья, большого счастья, воплощения новых, самых смелых планов. Удачи и благополучия вашим семьям!

Правление Тоннельной
ассоциации России



15-16 ОКТЯБРЯ
2020

НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ

ФОРУМ

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ
ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО
ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ

ОРГАНИЗАТОРЫ



МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛ ОТЕЛЯ
«ХОЛИДЕЙ ИНН
МОСКВА СОКОЛЬНИКИ»

реклама

WWW.RUS-TAR.RU

WWW.CCIBT.AT

WWW.HI-SOKOLNIKI.RU

СЧАСТЛИВОЕ ЧИСЛО ДЛЯ НЕДВИЖИМОЙ КРАСОТЫ ООО «ИБТ»



В этом году ООО «ИБТ» отметило семилетие своей деятельности на строительном рынке Москвы. В портфеле молодой и перспективной компании уже семь сложных объектов: две построенные уникальные станции «Рассказовка» и «Мичуринский проспект» Калининско-Солнцевской линии и еще пять станций на стадии строительства: «Пыхтино», «Внуково» той же желтой линии метро, «Воронцовская», «Зюзино», «Улица Новаторов» южного участка Большой кольцевой линии.

С инженерной точки зрения все перечисленные станции интересны и имеют свои неповторимые акценты. Станция «Пыхтино», например, запомнится пассажирам благодаря живописному метромосту и декоративному самолету.

Ту-144 будет «парить» над эскалаторным ходом. Такое креативное решение архитекторы приняли по аналогии со станцией «Рассказовка», которая сегодня у москвичей ассоциируется с самым литературным районом города. «Пыхтино» расположится в микрорайоне в поселение Внуковское, где улицы названы в честь советских летчиков и авиаконструкторов.

Сама станция «Пыхтино» находится с южной стороны Боровского шоссе, вблизи улицы Летчика Грицевца. Здесь сложный рельеф, поэтому одну путевую стену станции сделают глухой – ее украсят хронологической лентой с чертежами советских самолетов от винтовых АНТ-3 до сверхзвукового Ту-160, а на другой применят пано-



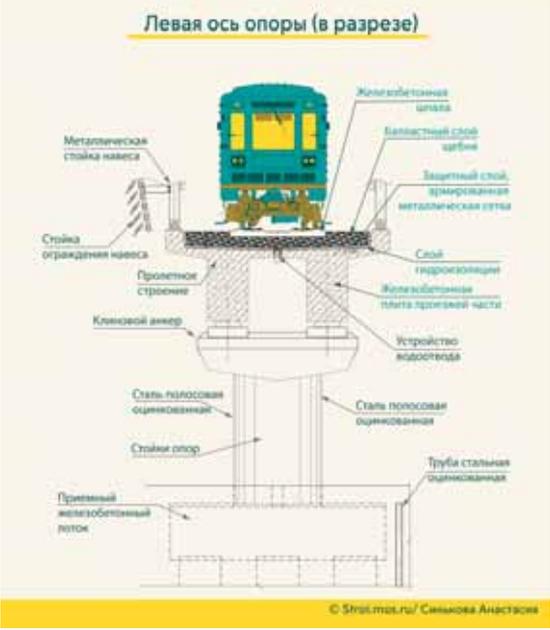
План продления Калининско-Солнцевской линии на участке «Рассказовка» – «Внуково»



Котлован станции «Пыхтино»



Строительство мостомоста через реку Ликова на станции «Пыхтино»



рамное остекление. Из окон поездов пассажиры смогут насладиться красотой природного ландшафта.

Сегодня на объекте ведется устройство основных конструкций и растет мостомост. Длинной в 598 м он начнется сразу за

«Пыхтино» (первые опоры установят рядом со стеной станции), далее сооружение пройдет над руслом реки Ликова, а после станет частью наземного участка. Из-за изгиба мост выполняет по разрезной системе, а поверх всей конструкции

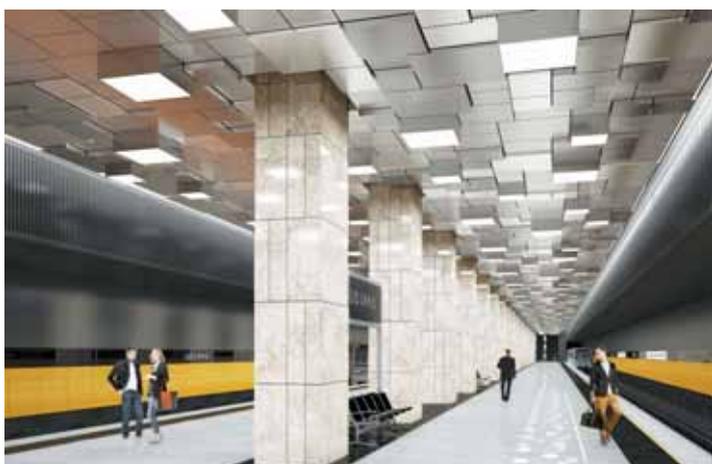
уложат бесстыковые пути. Это будет железнодорожная линия с настолько длинными рельсами, что никакие природные и физические явления (например, деформация металла) не смогут привести к их сдвигу.

Эскалаторный ход станции «Пыхтино»



Пассажирская зона станции «Пыхтино»





Пассажирская зона станции «Зюзино»



Кассовый зал станции «Зюзино»



Правый перегонный тоннель станции «Зюзино»



Котлован станции «Зюзино»

Технологию шумоподавления применят и при строительстве станций южного участка Большой кольцевой линии (БКЛ).

Лидирующие позиции по готовности занимает станция «Зюзино». Здесь идет проходка двух последних тоннелей на участке, в

активной фазе – строительство конструктива станции; уже установлены эскалаторы и завезено оборудование для работы тягово-понижительной подстанции (ТПП).

К облицовке строители приступят только в следующем году. По задумке архитекторов «Зюзино» предстанет перед пассажирами в серых, черных и желтых тонах. Главной особенностью станции станет декоративный подвесной потолок в виде пчелиных сот. Колонны на платформе облицуют светло-серым мрамором, а пол выложат гранитом в тон и черным габбро-диабазом.

Предполагается, что новая станция метро улучшит транспортную доступность районов Зюзино и Черемушки, уменьшит загрузку южных участков действующих линий, а также снизит интенсивность уличного движения в близлежащих районах на 10–15 %.

Сдача объектов в эксплуатацию намечена уже на ближайшие годы (2021–2022). Коллектив компании «ИБТ» обещает, что тестовые поезда поедут в обозначенные сроки, а любимая Москва станет еще удобнее благодаря новым пяти станциям метро.



ОБ ИЗМЕНЕНИИ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ВСЕМИРНОГО ТОННЕЛЬНОГО КОНГРЕССА – 2020 И 46-Й ГЕНЕРАЛЬНОЙ АССАМБЛЕИ ИТА/AITES

13 июля 2020 г.

Место проведения

Малайзия, г. Куала-Лумпур

Организатор

Ассоциация инженеров Малайзии,
Международная ассоциация тоннелестроения
и освоения подземного пространства

В адрес Тоннельной ассоциации России поступило совместное заявление Международной ассоциации тоннелестроения и освоения подземного пространства и Ассоциации инженеров Малайзии по вопросу проведения Всемирного тоннельного конгресса – 2020. Приводим его текст в переводе на русский язык.

Дорогие коллеги!

ИТА/AITES (Международная ассоциация тоннелестроения) и IEM (Ассоциация инженеров Малайзии) совместно объявляют, что WTC-2020 в Куала-Лумпур, Малайзия, запланированный с 11 по 17 сентября 2020г., будет переведен на полностью цифровую платформу из-за рисков для здоровья и пограничных ограничений для участников крупных международных мероприятий, вызванных последствиями COVID-19.

IEM обязуется возместить 70 % денежных средств, уже перечисленных спонсорами, экспонентами и зарегистрированными участниками в фонд WTC-2020, а также обеспечить 100-% возврат сборов, уплаченных зарегистрированными участниками за сопутствующие мероприятия, такие как Гала-ужин, посещение сайта и т. д.

Цифровой WTC-2020 в настоящее время готовится без каких-либо дополнительных затрат для тех, кто уже зарегистрирован. Все спонсоры, экспоненты и зарегистрированные участники будут уведомлены в ближайшее время Организационным комитетом WTC-2020 о формате цифрового мероприятия. Кроме того, всем зарегистрированным участникам будет предоставлена электронная книга судебных разбирательств.

Период проведения цифрового WTC-2020 остается неизменным – с 11 по 17 сентября 2020 г. Мы с нетерпением ждем, когда тоннельное сообщество благополучно соберется снова, чтобы обсудить вопросы подземного строительства.

Президент ИТА

Президент Института инженеров Малайзии

Дженни Ян

Дэвид Лай Конг Фуи



wtc2020@iem.org.my

[Register Now](#)

[HOME](#) [CONGRESS](#) [OPPORTUNITIES](#) [STAY & TRAVEL](#) [REGISTRATION](#) [MEDIA PARTNERS](#) [ITA/imes](#) [UPDATES](#) [CONTACT](#)

HRDF CLAIMABLE

ITA-AITES
WTC 2020
11-17 September 2020
Kuala Lumpur, Malaysia

Innovation and Sustainable Underground
Serving Global Connectivity

ITA-AITES World Tunnel Congress
WTC 2020 and 46th General Assembly

11-17 September 2020 | Kuala Lumpur Convention Center, Malaysia



БОЛЬШЕ ЧЕМ БИЗНЕС

О строительстве самой протяженной линии столичного метрополитена, продлении «салатовой» линии на север и закрытии Каховской линии, а также о социально-культурной жизни АО «Мосметрострой» рассказал генеральный директор компании Сергей Анатольевич Жуков.



Выход ТБМ «София» на площадке 17

– Сергей Анатольевич, в этом году будут открыты новые станции метрополитена?

– К концу года планируем открыть станцию «Электрозаводская» Большой кольцевой линии. На сегодняшний день подходят к завершению основные строительно-монтажные работы, строители приступили к архитектурной отделке станции и инженерии. Общая готовность станции составляет 70%. На базе «Электрозаводской» планируется создать транспортно-пересадочный узел, од-

ним из главных объектов которого станет пешеходный мост через реку Яузу длиной около 85 м, соединяющий Семеновскую и Рубцовскую набережные. В целом на северо-восточном участке БКЛ, за который ответственность несет Мосметрострой, включая станции «Сокольники», «Рижская» и «Марьяна Роща», все идет по намеченному плану. Осенью ожидается завершение проходки перегонных тоннелей в сторону станции «Рижская» к «Савеловской» БКЛ и от «Сокольников» до «Рижской».

– Много говорят об интеграции Каховской линии в Большое кольцо. На каком это этапе?

– С закрытием на реконструкцию станций «Каховская», «Каширская» и «Варшавская» прекратила свое существование Каховская линия. После того, как станции будут обновлены и переоснащены, они войдут в состав южного участка Большой кольцевой линии. В конце июля мы начали проходку правой служебной ветки в электродепо «Замоскворецкое» к станции «Каширская», откуда и будут

Пробный фрагмент панно путейх стен станции «Электрозаводская»





Перегонный тоннель между станциями «Сокольники» и «Электровзаводская»



ДМЩК на Люблинско-Дмитровской линии

следовать поезда. Участок сложный, тоннелепроходческому комплексу необходимо преодолеть водонасыщенные пески, плотные глины и суглинки. На самих станциях, в частности на «Каширской» и «Варшавской», идет демонтаж старых облицовочных покрытий. Впереди по объему выполненных работ «Кавовская». На ней уже заменили основные конструкции платформы, приступили к облицовке стен и полов, разрабатывается котлован для будущего перехода на «Севастопольскую».

– А что происходит на Люблинско-Дмитровской линии?

– Мы продолжаем строительство второго наклонного хода станции «Окружная», который соединит станционный зал и вестибюль № 2, а также позволит пассажирам по принципу «сухие ноги» перейти на одноименную платформу МЦК и пригородных электропоездов. На сегодняшний день уже установлено более половины колец. В конце июня 2020 г. легендарная «Клавдия», тоннелепроходческий комплекс Lovat 242SE, завершила проходку первого тоннеля на продлении Люблинско-Дмитровской линии к поселку Северный – от тупиков за станцией «Селигерская» до «Лианозово», пройдя транзитом «Улицу 800-летия Москвы». Осенью начнется проходка второго тоннеля по тому же направлению. Параллельно с проходческими работами сооружаются станционные комплексы. В октябре планируем приступить к строительству тоннелей от «Лианозово» до «Физтех».

– Кто знаком с историей компании, которую Вы возглавляете, знают, что Мосметрострой всегда уделял большое внимание социально-культурной жизни коллектива. Есть чем сегодня поделиться?

– Вы правы, нам всегда есть чем поделиться и что показать. Мы поддерживаем действующие инициативные группы в компа-



Музей Мосметростроя

нии – советы ветеранов Московского метростроя и молодых специалистов, спортивные команды организации, поисковой отряд «Память Метростроя», «Афган Метростроя». Собственными силами реконструировали детский оздоровительный лагерь «Юный Метростроевец» в Калужской области. За два с половиной года на территории лагеря мы обновили все коммуникации, благоустроили территорию, построили новые очистные сооружения, поставили котельную, отремонтировали спальные корпуса, столовую, медицинский изолятор, корпуса для кружков. К сожалению, из-за пандемии открыть лагерь в этом году не получилось. Надеемся юных постояльцев принять уже следующим летом. Впрочем, коронавирус не смог нам помешать в открытии музея Мосметростроя в здании Управления на Цветном бульваре. По станциям, которые построены коллективом Московского метростроя, водят экскурсии, а ведь и у нас – в «родительском доме» – есть

что показать и чем гордиться. О нашей истории, традициях, опыте знают и говорят. А теперь ещё и смогут увидеть! Множество интереснейших экспонатов наконец-то обретут здесь своё место. Мы планируем постоянно обновлять экспозицию, тем самым знакомить наших гостей не только с историей нашей компании, но и в целом с метростроительной отраслью. Первая выставка была посвящена 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Представленной экспозицией мы почтили подвиги метростроевцев в военные и послевоенные годы, а также напомнили, что даже в самые тяжёлые времена Московский метрострой остаётся на передовой! Наш коллектив был одним из первых, кто поддержал инициативу правительства в разгар пандемии начать строительство инфекционного центра в Новой Москве. И мы это сделали – в рекордно короткие сроки построили новые медицинские корпуса для больных коронавирусом.



БАКИНСКОМУ МЕТРОСТРОЮ 70 ЛЕТ

Ш. К. Эфендиев, А. М. Алиев, Тоннельная ассоциация Азербайджана



Станция «Нариман Нариманов» в первые дни работы

Строительство метрополитена в Баку предусматривалось впервые в Генеральном плане развития города, составленном в 1932 г. Однако начало Второй мировой войны помешало его реализации. Вопрос вновь был поднят после окончания войны.

В декабре 1949 г. Совет Министров СССР принял решение о строительстве метрополитена в городе и создании для реализации этой задачи Управления «Бакметрострой» и проектного института «Бакметрострой» – филиала Государственного проектно-изыскательского института «Метрогипротранс». Это постановление положило начало созданию базы строительства и разработке технического проекта первой очереди метрополитена. После утверждения технического проекта в 1951 г. началась разработка рабочих чертежей и строительство основных сооружений метрополитена.

К сожалению, в 1953 г. строительство метрополитена было законсервировано и работы на первой очереди возобновились лишь в 1960 г. При этом следует отметить, что за это время произошло значительное

развитие промышленности в северо-восточной части города, появились новые линии транспорта, новые жилые районы, что, разумеется, потребовало внесения корректив в ранее утвержденный проект, с той целью, чтобы метрополитен мог наилучшим образом обеспечить возрастающие нужды население города.

Трасса метрополитена по откорректированному и утвержденному в феврале 1965 г. проекту имела протяженность 18,54 км с десятью станциями и была разделена на три пусковых участка:

- первый – протяженностью 9,92 км с шестью станциями («Ичери Шехер», «Сахил», «28 мая», «Хатаи», «Гянджлик», «Нариман Нариманов»);
- второй – протяженностью 2,26 км с одной станцией «Низами» глубокого заложения;
- третий пусковой участок – 6,36 км с тремя станциями мелкого заложения («Улдуз», «Кёроглу» и «Нефтчиляр»).

Однако в 1969 г., в связи с учетом фактических условий, технический проект вновь был уточнен. В нем предусматривалось строительство дополнительной станции

«Кара Караев» между станциями «Кёроглу» и «Нефтчиляр».

Пять станций первой очереди – «Ичери Шехер», «Сахил», «28 Мая», «Хатаи» и «Низами» являются станциями глубокого заложения пилонного типа, а остальные – мелкого заложения, трехпролетные колонного типа.

Станции глубокого заложения состоят из трех тоннелей наружным диаметром 8,5 м. Для их конструкции использованы (на беспроемных участках) чугунные и железобетонные тубинги.

6 ноября 1967 г. тысячи бакинцев, заполнившие площадь, прилегающую к станции «Баки Совети» (ныне «Ичери Шехер»), стали свидетелями знаменательного события – пуска в эксплуатацию первого участка Бакинского метрополитена.

Бакинцы получили самый удобный, безопасный и комфортабельный вид транспорта. Это событие явилось новой страницей в истории развития транспорта г. Баку.

К моменту разработки основных рабочих чертежей уже были пущены в эксплуатацию Московский, Ленинградский и

Киевский метрополитены, строилось метро в Тбилиси. Накопленный опыт был широко использован в проектировании и строительстве Бакинского метрополитена. При этом следует отметить, что гидрогеологические условия в Баку являлись одними из сложнейших в СССР, что заставило проектировщиков и строителей искать новые методы сооружения подземных конструкций.

Участок перегонных тоннелей между станциями «Сахил» и «28 мая» проходил в водоносных супесях с гидростатическим напором около 4 атм. Пройти этот участок под давлением сжатого воздуха было очень опасно.

К тому же почти невозможно было обучить множество проходчиков. На этом участке впервые в метро- и тоннелестроении СССР проектировщиками и строителями в содружестве с научными работниками Азербайджанского научно-исследовательского института по добыче нефти была разработана технология работ, обеспечившая совмещение кессонной проходки с одновременным глубинным водопонижением. По этой технологии водопонижающие скважины вокруг сооружаемых в пльвунах тоннелей располагали по схеме двух контуров. Скважины внутреннего контура служили для глубинного водопонижения на участке, где сооружался тоннель под сжа-



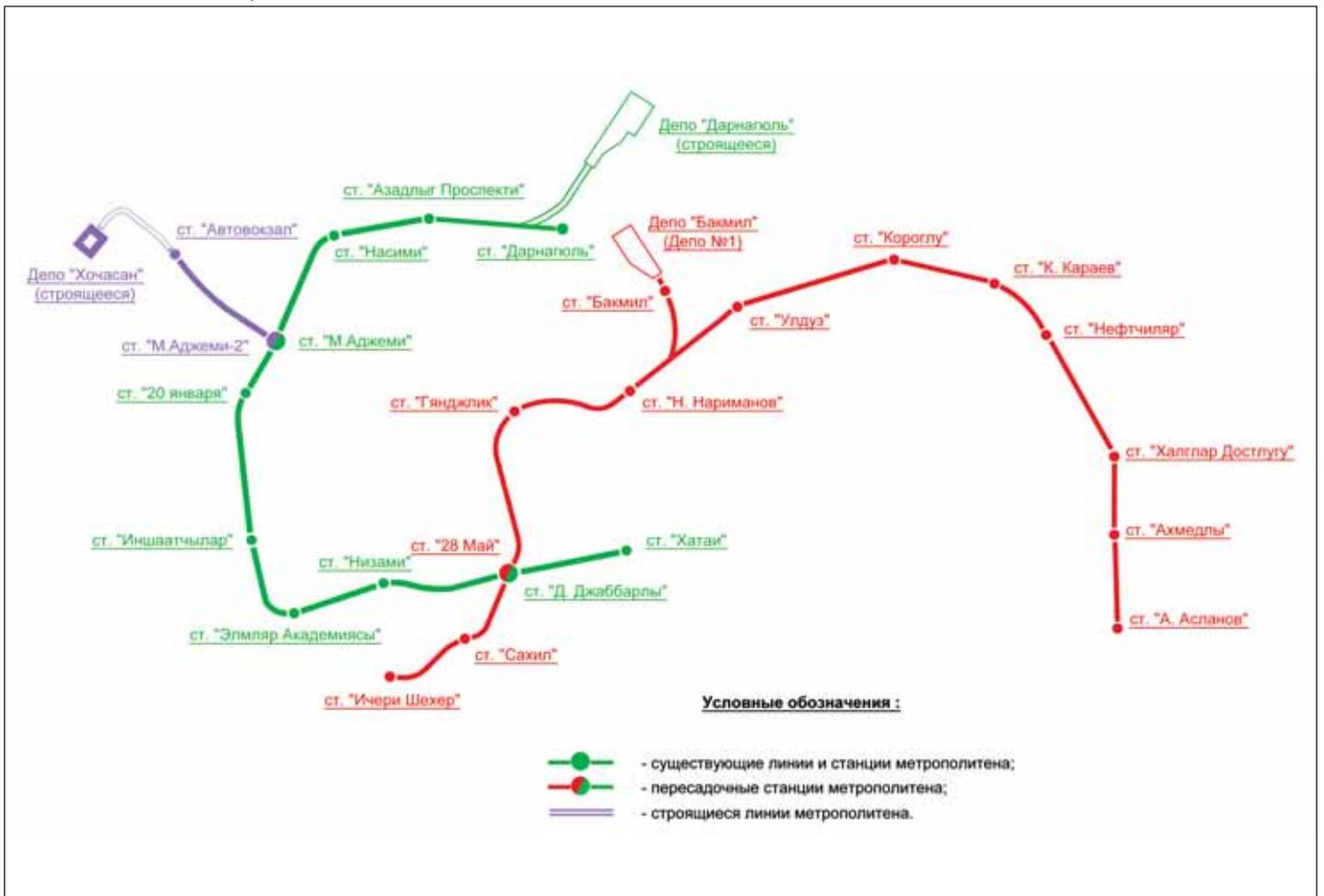
Перед отправлением в первый рейс

тым воздухом, а внешние скважины служили для удаления воды, поступающей из окружающих водоносных пластов.

Такая схема расположения скважин обеспечила устойчивое водопонижение и позволила поддерживать в кессоне приемлемое избыточное давление воздуха.

Размещение водопонижительных скважин и определение их необходимого количества с учетом городской застройки было проведено с помощью метода электрогидродинамических аналогий и разработки специальной модели расположения скважин на электроинтеграторе.

Схема линий Бакинского метрополитена, 2018 г.





Котлован станции «Азадлыг проспекти»



Второй наклонный тоннель на станции «Элмляр Академиясы»

Благодаря правильно осуществленной схеме водопонижения и целому ряду технических мероприятий удалось благополучно построить тоннели на этом сложнейшем участке. В этих тяжелых условиях кессонной проходки следует отметить слаженную работу молодых способных инженеров Ш. К. Эфендиева, Г. Еременко, Ю. Марычева, Ю. Фролова, Н. Федосова и др.

Не менее сложным оказалось строительство тоннелей между станциями «Ичери Шехер» и «Сахил». Здесь была другая геологическая картина – тоннели сооружались в водоносных известняках, имеющих прослойки песка. Вода, поступающая в забой с большим притоком (до 100–120 м³/ч), вымывая песок, затрудняла работы в забое и создавала возможность

просадки поверхности. Для предотвращения выноса песка также был применен сжатый воздух.

Однако последовательно поднимаемое давление, доведенное до 2,5 атм, не приостановило приток воды и вынос песка. Выход из создавшегося положения был найден и здесь. Для снижения давления в кессоне применили искусственное водопонижение из известняков в уже построенный тоннель. При этом давление удалось снизить до 1,5–1,7 атм.

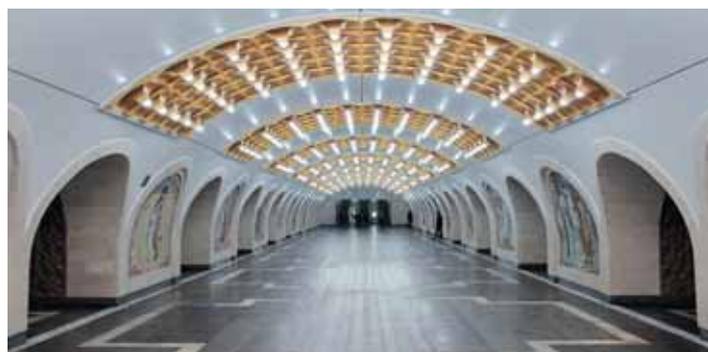
Из построенных семи станций глубокого заложения наиболее сложной оказалась для строителей станция «Хатаи». Инженерно-геологические условия, а также ряд осложнений, возникших в ходе строительства, потребовали применения метода

искусственного замораживания грунтов для проходки эскалаторного тоннеля и на отдельных участках горизонтальных тоннелей. По окончании строительства наклонного тоннеля выявилась необходимость ликвидировать поступление воды по прослойкам водоносных песков, что было достигнуто путем нагнетания цементного раствора в пласт водоносной супеси. Это было сделано с использованием применяемого в нефтяном деле способа для эффекта гидроразрыва пласта и движения раствора по пласту супеси.

Одна из главных особенностей строительства Бакинского метрополитена – это сложные инженерно-геологические условия строительства, характеризующиеся большим разнообразием пород по трассе



Станция колонного типа «Насими», 2008 г.



Станция пилонного типа «Низами Гянджеви» (построена в 1976 г., реконструирована в 2017 г.)



Станция колонного типа «Кара Караев», 1972 г.



Односводчатая станция «Азадлыг Проспекти», 2009 г.

тоннелей с наличием крупных участков плавунных грунтов, обладающих высоким гидростатическим напором. Подземные воды и грунты высокоминерализованы, насыщены сернистыми и хлоридными соединениями и являются коррозионно-агрессивными по отношению к металлу и бетону.

На основании соответствующих научных разработок ученых, занимающихся вопросами коррозии и стройматериалов, были реализованы мероприятия по защите чугунных тубингов с помощью битумных покрытий и растворов на сульфатостойком цементе, нагнетаемых за тубинги. Была разработана и внедрена электрическая катодная защита тоннелей из чугунных тубингов для участков, построенных в пловунах, где трудно выполнить нагнетание за обделку, а также применены антикоррозионные смазки для защиты внутренних поверхностей тубингов, закрываемых зонтами.

Следует отметить еще одно новшество, примененное бакинскими метростроителями. Как известно, эскалаторный тоннель с горизонтальным тоннелем соединяется с помощью устройства специального сопряжения. Раньше переход от наклонного направления к горизонтальному осуществлялся при помощи трех угловых колец, состоящих из веерных тубингов.

Проектировщиками совместно со строителями была разработана новая конструкция веерного участка, где переход от наклонного к горизонтальному направлению выполняется при помощи одного специального фигурного углового кольца. При этом остальная часть веерного участка по обе стороны от углового кольца заполняется обычными нормальными тубингами. В прежней конструкции, т. е. в случае применения трех угловых колец, общий вес веерных тубингов составлял 64 т, а при применении фигурного углового кольца вес веерных тубингов составляет 18,2 т. Таким образом, в новой конструкции веерного участка почти 46 т веерных тубингов заменяются нормальными.

Элементы фигурного углового кольца были изготовлены на бакинских заводах. Деятельность строителей Бакинского метрополитена не ограничивается только сооружением тоннелей и станций. Свой достоянный вклад метростроители внесли в развитие хозяйственного комплекса республики. Были сооружены гидротехнические тоннели:

- Хачинчайского водохранилища в Агдамском районе длиной 359 м;
- Ахинджачайского водохранилища в Таузском районе длиной 322 м;
- Верхне-Ханбуланчайского водохранилища в Ленкоронском районе длиной 426 м;
- Левобережный гидротехнический тоннель в Нахичеванской Автономной Республике – 4000 м;



Президент Азербайджана Ильхам Алиев на открытии станции «Азадлыг Проспекти», 30.12.2009 г.

• автодорожный тоннель в Кельбаджарском районе протяженностью 550 м.

Возведено уникальное винохранилище тоннельного типа диаметром 8,5 м, состоящее из двух параллельных тоннелей длиной по 500 м в Шемахинском районе.

Построен прекрасный Бакинский фуникульёр, соединяющий бульвар с Нагорным парком.

Сооружены тоннельные обходы протяженностью 413 м и 1545 м на линии Баку – Нахичевань Азербайджанской железной дороги.

Особо следует отметить вклад коллектива в строительство уникального подземного объекта на территории Эльбрусского района Кабардино-Балкарской Автономной Республики по заказу Института ядерных исследований академии наук СССР.

Безусловно, строительство метрополитена в г. Баку и других подземных сооружений облегчалось тем, что уже был накоплен большой опыт в Москве, Ленинграде, Киеве. С первых дней организации метростроя, в Баку начали трудиться опытные метростроители из Москвы и Ленинграда, передавая свой богатый опыт бакинцам.

Первыми руководителями бакинского метростроя были А. Ф. Денищенко, М. Р. Асадзе, Н. Г. Сарджвеладзе. В разные периоды строительства на стройке были и находились продолжительное время К. А. Кузнецов, С. И. Семенов, П. А. Часовитин, А. С. Луговцов, А. Н. Морозов, А. А. Гарбузов, В. И. Размеров, В. Г. Афанасьев.

Первыми руководителями коллектива проектировщиков были Г. В. Лебедев и Н. И. Ушаков.

Долгое время руководили Бакметростроем А. И. Абдулрагимов и С. Н. Власов, благодаря которым была пущена в эксплуатацию первая очередь Бакинского метрополитена.

Бакинские тоннелестроители с благодарностью вспоминают имена посланцев из Мосметростроя, которые приняли активное участие в сооружении сложных участков. Это механики Н. М. Верейнов, П. С. Куликов, С. П. Петренко, бригадиры В. Костромцов, В. Минайченков, начальник участка А. В. Зырянов, начальник смены Г. М. Танкелевич и многие другие.

За период строительства выросли кадры азербайджанских метростроевцев, способных решать сложные технические вопросы.

Более четверти века руководил Бакинским метростроем Ш. К. Эфендиев, главным инженером был Ф. А. Курбанов. Всей стране были известны имена проходчиков и бригадиров: Г. Мамедова, И. Джавадова, Н. Алескерова, Ш. Кулиева, Н. Квитко, И. Дерябина, О. Тоде и др.

Много труда, смелых и творческих решений вложили в строительство станций и тоннелей инженеры Бакметропроекта и метростроя Ю. Г. Якубов, В. М. Исмаилов, К. И. Сенчихин, А. А. Агаев, Г. Н. Степанов, Ф. Г. Народицкий, Р. Ю. Яхьяев, В. А. Поминов, А. Л. Стриковский, Л. П. Косик, И. И. Лыков, М. А. Мутушев, А. Закарьяев, В. Кобляков, И. Кязимов, Я. Алиев, Б. Алиев, А. Рагимов, Н. Нагиев, Ш. Эфендиев, Р. Агаев и др.

Бакинский метрострой сегодня оснащен самым современным технологическим оборудованием, в том числе двумя комплексами ТПМК фирмы «Херренкнехт» (один с грунтопригрузом, другой с гидропригрузом), оборудованием для сооружения станции методом «стена в грунте» и т. д.

Сегодня Бакинский метрополитен, благодаря огромному труду бакинских метростроителей, по праву считается национальным достоянием азербайджанского народа. Метростроевцы всегда будут идти впереди, осваивая подземное пространство, ставя его на службу людям и прогрессу.



СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТРО В ПЕТЕРБУРГЕ НЕ ОСТАНАВЛИВАЕТСЯ



ОАО «Метрострой» – генеральный подрядчик строительства метро в Санкт-Петербурге, продолжает реализацию проектов по сооружению новых линий метро. В апреле компания вошла в список системообразующих предприятий города. Сегодня метростроители работают на Лахтинско-Правобережной и Красносельско-Калининской линиях, а также выполняют благоустройство на бывших стройплощадках Невско-Василеостровской линии и Фрунзенского радиуса, ежемесячно в совокупности выполняя работ более чем на 1 млрд рублей.

Основная часть выполнения – это горные капитальные работы. В частности, в тоннелях Красносельско-Калининской линии завершена щитовая проходка левого перегонного тоннеля от ст. «Казаковская» (проектное название «Юго-Западная») до ст. «Путиловская» диаметром 5,63 м. Щит уже преодолел путь в 3000 м и теперь

впереди у него проходка 1,8 км соединительной ветки до ст. «Нарвская», по которой впоследствии подвижной состав будет следовать к депо. Параллельно к проходке готовится второй проходческий щит, с помощью которого на этом же участке будет сооружаться правый перегонный тоннель. На ст. «Казаковская» завершается проходка наклонного хода. Работы ведутся с использованием замораживания грунта и установкой чугунной обделки. На пересадочном узле «Путиловская» – «Кировский завод» сооружается камера лестничных спусков и натяжная камера.

На строительстве участка Лахтинско-Правобережной линии от ст. «Спасская» до ст. «Горный институт» (проектное название «Большой проспект») также производятся горные подземные работы. Метростроители приступили к сооружению тягово-понижительной подстанции и цент-



рального зала ст. «Театральная». В рамках действующего государственного контракта сооружается только подземная часть станции в общих конструкциях, без эскалаторного тоннеля и наземного вестибюля (место, где будет располагаться наземный вестибюль станции еще не определено). Тем не менее, имеющийся объем подземных работ большой и требует ежемесячной напряженной работы проходчиков, так как в основном работы на таких выработках осуществляются вручную с применением малых средств механизации. Перегонные тоннели на строящемся участке линии сооружены полностью за исключением участка тоннеля между ст. «Спасская» и ст. «Театральная». Для за-

вершения строительства тоннелей к проходке готовится тульский проходческий щит, ранее впервые опробованный именно на этой линии.

На ст. «Горный институт» успешно завершилась проходка наклонного хода с применением легендарного проходческого комплекса «Аврора», который стал первым в мире щитом для проходки тоннелей под углом в 30 градусов, и который уже успешно построил тоннели для станций «Обводный канал», «Адмиралтейская» и «Спасская». На самой станции завершились работы по перебурке боковых станционных тоннелей (пилот-тоннели, сооруженные с помощью проходческого щита диаметром 5,63 м, перебраны в станционные тоннели

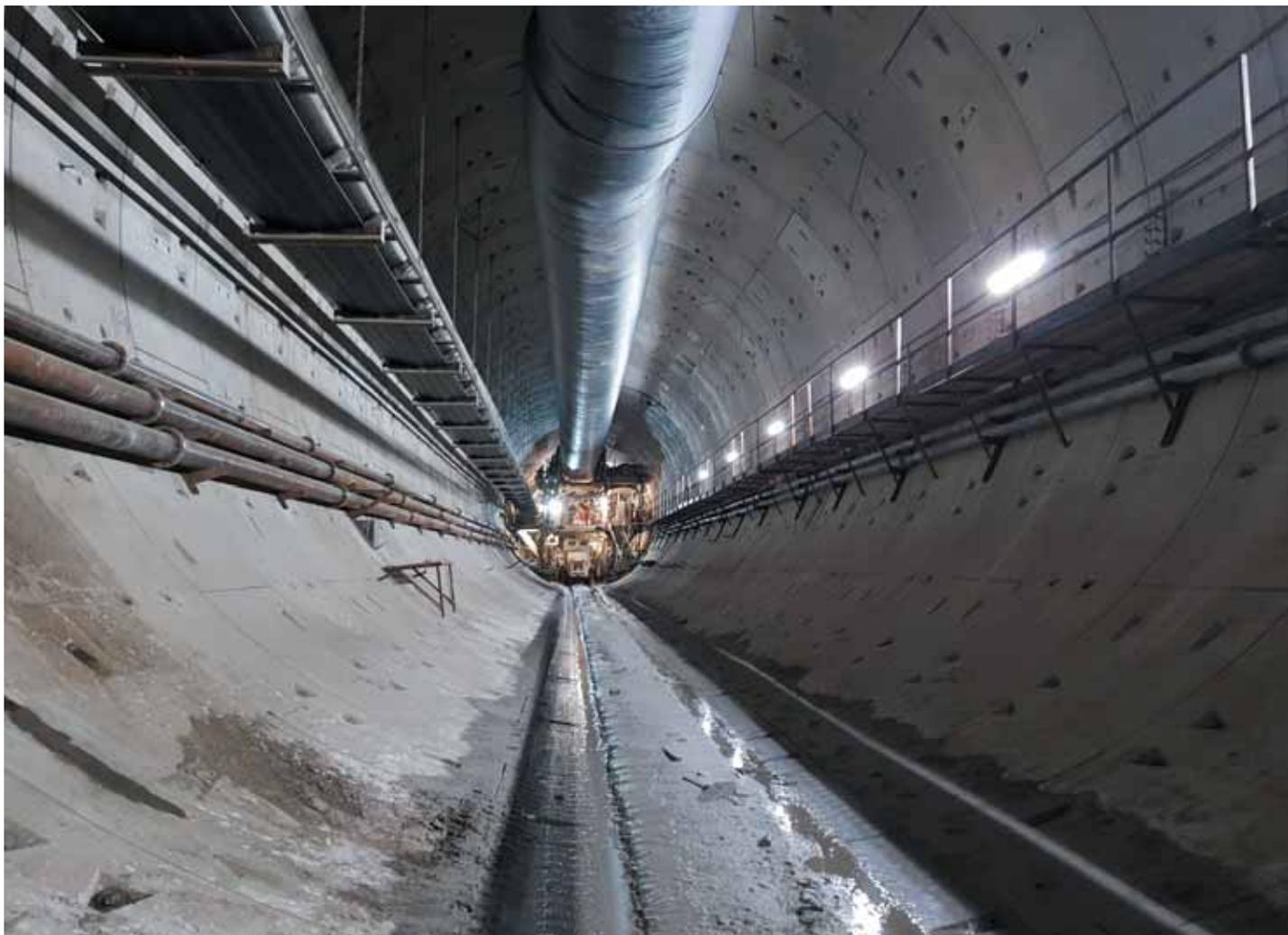
диаметром 8,5 м). Там же метростроители разрабатывают пилоны – проемы, соединяющие центральный зал станции с боковыми тоннелями.

Горные работы имеют большой объем, в связи с чем ежемесячно с площадок обеих линий вывозится порядка 30 тыс. кубометров грунта. Кроме того, ОАО «Метрострой» продолжает работы на строительстве Большой кольцевой линии в Москве и идет с опережением производственного графика. ТПМК «Надежда» прокладывает около 300 м тоннеля ежемесячно, устанавливая по 10–12 колец в сутки.



*Материал подготовлен пресс-службой
ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург*

СБОЙКА ДВУХ СТОЛИЦ



13 июля 2020 г. петербургские метростроители вывели ТПК «Надежда» на станцию «Давыдково» в Москве.

Петербургский «Метрострой» приступил к строительству объектов Московского метрополитена в декабре прошлого года, выиграв конкурс АО «УРСТ» на строительство двухпутных перегонных тоннелей от ст. «Можайская» до переходной камеры за ст. «Давыдково», с устройством вентиляционного перекрытия тоннелей, жесткого основания и верхнего строения пути двухпутных перегонных тоннелей и ст. «Давыдково». Проходка началась в конце февраля от станции «Можайская» («Кунцевская»). Установив 763 кольца и соорудив таким образом 1373 м тоннеля, тоннелепроходческий комплекс «Надежда» вышел на станцию «Давыдково».

«Надежда» успешно прошла под железнодорожными путями Смоленского направления РЖД и МЖД в районе станции Кунцево-1, пересекла оживленную автодорогу – Можайское шоссе. Геология в основном представляла собой обводненные пески. Это достаточно агрессивная среда, оказывающая абразивное воздействие на





режущий инструмент ротора щита. За время проходки было сделано две плановые остановки в кессоне для обследования состояния щита, было заменено 20 шарошек. Однако петербургские метростроители отмечают, что геология в Москве однородная и потому более благоприятная для проходки.

Средняя скорость составила 8 колец в сутки (10 м тоннеля). Максимальное количество колец за сутки – 12. Блоки железобетонной обделки тоннеля изготавливались в Петербурге на заводе ЖБИ.

На этом работа петербургских метростроителей в Москве не заканчивается. В ближайший месяц «Надежду» необходимо протолкнуть через станцию «Давыдково» и приступить к проходке следующего участка перегонного тоннеля до тупика станции «Аминьевское шоссе». В общей сложности впереди еще более полутора километров пути. До начала проходки необходимо успеть переподключить все обслуживающие процессы с площадки «Кунцевская» на площадку «Давыдково».

Продолжится работа и в уже пройденном тоннеле. Сейчас там уложено 720 п. м жесткого основания и в день сбойки планировалась заливка очередной 400-кубовой партии бетона. Параллельно закупается арматура для сооружения вентперекрытия тоннеля, работы начнутся в ближайшее время. Здесь, в Москве, применяется та же уникальная технология, что была впервые опробована на Невско-Василеостровской линии в Петербурге. Она позволяет совмещать проходку и обустройство тоннеля.



ПЕРВЫЙ ЭТАП СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ ЧОРТАНОВЦЫ (РЕСПУБЛИКА СЕРБИЯ) ПРОЙДЕН



В Республике Сербия специалисты ООО «ММС Интернэшнл» совместно с компанией ООО «РЖД Интернешнл» продолжают воплощать в жизнь один из самых амбициозных проектов в восточной части Европы – строительство высокоскоростной железной дороги, которая соединит две столицы – Белград и Будапешт. Метростроевцы на участке Стара Пазова – Нови Сад в районе Чортановцев совершили еще один производственный подвиг. 5 июня 2020 г. состоялась сбойка по каллотной части левого тоннеля протяженностью 1156 м.

Встреча под землей

Сбойка осуществлена с северного портала в сторону южного портала. Последние метры грунта строители преодолели с помощью гидромолота и расчистили проем. Здесь их встретили высокопоставленные гости, прибывшие со стороны южного портала тоннеля. Среди них министр строительства, транспорта и инфраструктуры Сербии Зорана Михайлович, а также исполняющий обязанности генерального директора АО «Инфраструктура железных дорог Сербии» Шурлан Небойша, председатель Правительства автономного края Воеводины Игорь Мирович, торговый представитель РФ в Республике Сербия Андрей Хрипунов и директор филиала ООО «РЖД Интернешнл» в Сербии Мансурбек Султанов.

Зорана Михайлович отметила профессионализм команды российских и сербских строителей, которые даже во время пандемии с соблюдением мер безопасности работали в три смены. Министр не сомневается, что уже осенью следующего года из Белграда в Нови Сад можно будет проехать за 30 минут по новой скоростной железной дороге.

Идем по графику

Несмотря на трудности и сложную геологию, работы выполняются согласно контрактному графику. Параллельно с проходкой тоннеля осуществляются работы по бетонированию основания, стен и сводовой части. Полностью работы по сооружению

постоянной обделки в обоих тоннелях планируется завершить к концу октября. Тогда же начнутся работы по устройству верхнего строения пути.

Трасса проходит в сложных горногеологических условиях с оползневыми зонами и неустойчивыми обводненными грунтами. Перед строительством предварительно грунтовый массив порталов укрепили каскадом опорных конструкций из буронабивных свай, объединенных ростверками. Общая длина строящихся тоннелей в однопутном исчислении составляет более 2 км. Проходка двух тоннелей выполнена ровно за два года.

Помогли сербской школе

Перед сбойкой делегация во главе с министром строительства Зораной Михайлович посетила начальную школу имени сербского писателя Йована Дучича в городе Петроварадин.

Метростроевцы из ММС Интернэшнл совместно с РЖД Интернешнл осуществили реконструкцию спортивного зала школы. Капитальный ремонт включал обновление пола, в том числе циклевку паркета, покраску стен и потолков. Отремонтировали баскетбольные щиты, нанесли новую разметку, заменили освещение, обновили стационарный инвентарь и полностью заменили инвентарь для спортивных игр.

Директор школы провела для гостей экскурсию и поблагодарила строителей за участие в социальной акции. ООО «РЖД Интер-

нешнл» также внесло свой вклад, отремонтировав компьютерный класс.

Работаем совместно с РЖД Интернешнл

Проект считается одним из крупнейших в регионе. Два самых уникальных и сложных объекта трассы достались российским компаниям – тоннели и виадук в районе Чортановцев. Это единый комплекс капитальных железнодорожных конструкций, который в будущем обеспечит скорость движения поездов до 200 км/ч.

Кроме того, ММС Интернэшнл продолжает строительство искусственных сооружений (ИССО). Все они, от больших автодорожных эстакад и переездов до маленьких путепроводов, расположенных вдоль всего строящегося участка железной дороги, являются частью большого проекта реконструкции и строительства скоростной двухпутной железнодорожной линии Стара Пазова – Нови Сад. Их открытие планируется в день тестирования всей обновленной железной дороги.

Для поддержания высокого статуса АО «Мосметрострой» разрабатывает новые стратегические направления бизнеса, в том числе развитие внешнеэкономической деятельности. Проект по строительству тоннелей в Республике Сербия очень важен для организации плодотворного сотрудничества с Российскими железными дорогами и Сербскими железными дорогами.



Пресс-служба АО «Мосметрострой»



16 июня 2020 г. исполнилось 75 лет Константину Петровичу Безродному, специалисту высочайшего уровня в области технологии тоннельного строительства, доктору технических наук, почетному члену Тоннельной ассоциации России.

После успешного окончания в 1967 г. Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта по специальности тоннели и метрополитены, Константин Петрович работал в «Ленметрострое» начальником смены и заместителем начальника участка до 1970 г. Затем был призван в армию офицером в Управление № 14 отдельной железнодорожной бригады в Баку. К. П. Безродный начал свою научную деятельность во Всесоюзном научно-исследовательском институте транспортного строительства (ЦНИИС), в котором в 1978 г. защитил кандидатскую диссертацию о статической работе односводчатых

станций метрополитена глубокого заложения.

В 1985 г. Константин Петрович руководил лабораторией строительства тоннелей БАМ, параллельно преподавая в Северобайкальском филиале Иркутского института инженеров железнодорожного транспорта. С 1989 г. занимал должность генерального директора Сибирского научно-исследовательского центра.

Неоценимый вклад внес Константин Петрович в одну из самых великих строек страны – сооружение Байкало-Амурской магистрали. За разработку и реализацию прогрессивных технических решений по строительству горных железнодорожных тоннелей в особо тяжелых геологических условиях в 1991 г. награжден Премией Совета Министров СССР. На подъеме успешной научной деятельности в том же году К. П. Безродный защитил докторскую диссертацию на примере разработанных и внедренных конструктивных решений крепей и обделок при строительстве тоннелей БАМ.

В 1993 г. К. П. Безродный перешел на работу в ОАО «Ленметрогипротранс» на должность заместителя генерального директора по НИР, создав и развив в организации научно-исследовательское направление деятельности коллектива. Институт приобрел статус научно-исследовательского и проектно-изыскательского. Константин Петрович был одним из инициаторов создания в 1990 году Тоннельной ассоциации России и многие годы входил в состав правления этой организации. Активно принимал участие в конгрессах Международной ассоциации тоннелестроения и освоения подземного пространства. Выступал с докладами на Международных конференциях по тоннелестроению и освоению подземного пространства в России, Чехии, Венгрии, Германии, Италии, Испании, Индии, Бразилии, Японии, Норвегии и Финляндии. В настоящее время научная деятельность К. П. Безродного совместно с коллективом ОАО «Ленметрогипротранс» направлена на разработку и реализацию сложных инженерных решений в подземном строительстве. Константин Петрович – признанный ученый, авторитетный эксперт, автор более двухсот монографий и научных публикаций – является членом диссертационного совета в Санкт-Петербургском горном университете. За выдающийся вклад в создание и внедрение новых перспективных технологий в 2008 г. награжден золотой медалью им. В. Г. Шухова, как участник авторского коллектива научной работы, содержащей обобщенный опыт возведения в Санкт-Петербурге станций колонного и односводчатого типа в сборном железобетоне, а также сооружения двухэтажной пересадочной станции Петербургского метрополитена «Спортивная». Успехи и достижения научной деятельности К. П. Безродного по заслугам отмечены государственными наградами и знаками отличия. Среди них: «Орден Почета», медали «За заслуги перед Санкт-Петербургом», «Ветеран труда», «За строительство Байкало-амурской магистрали», «Почетный строитель России».

Дорогой Константин Петрович!

Сердечно поздравляем Вас с 75-летним юбилеем со Дня рождения!

Ваша профессиональная деятельность – яркий пример многолетнего добросовестного служения благородному делу!

Мудрость, огромный жизненный опыт, высочайший профессионализм, трудолюбие и самоотдача снискали Вам заслуженный авторитет, признание и уважение со стороны научного сообщества. Выражаем Вам глубокую благодарность за большой вклад в развитие технологий подземного строительства.

Желаем Вам доброго здоровья, неиссякаемой энергии и оптимизма, удачи, новых научных успехов, интересных проектов!

*Правление Тоннельной ассоциации России
Коллектив института ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»*

ВМ-МОДЕЛЬ МЕТРО НА БАЗЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ. СОЗДАНИЕ АКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ПО AUTODESK

И. Я. Дорман, АО «Метрогипротранс»

Институт «Метрогипротранс» был основан в 1933 г. Его сотрудники – авторы проектов всех действующих станций и линий Московского метрополитена и метрополитенов городов всего постсоветского пространства. Институт располагает ценнейшим архивом документов, описывающим архитектурные и инженерные решения метрополитена. На них и сегодня опираются проектировщики, планируя реконструкцию и ремонт метро.

Объединение Каховской линии и БКЛ

Интеграция Каховской линии Московского метрополитена в состав Большой кольцевой линии – один из проектов, к работе над которым привлечены специалисты института. Согласно планам Московского метрополитена, в результате соединения Каховской линии и БКЛ на задействованных в проекте станциях увеличится пассажиропоток, ряд станций трансформируется в транспортно-пересадочные узлы с новыми функциональными зонами. Для реализации этого многогранного проекта критически важна актуальная информация по фактическому состоянию подземных конструкций и сооружений. В архиве института «Метрогипротранс» есть проектные чертежи объектов, находящихся в зоне реконструкции, однако далеко не всегда они соответствуют реальному положению дел под землей.

– Станционный комплекс включает в себя не только пассажирскую зону, но и огромное количество служебных помещений – трансформаторных подстанций, диспетчерских комнат, водоперекачек, вентиляционных камер и т. д., – рассказывает Алексей Анатольевич Авдеев, главный инженер АО «Метрогипротранс». – Служебная зона важна не меньше пассажирской, она тоже подлежит реконструкции. При этом именно в ней наблюдается самый большой процент расхождений между архивными чертежами и фактической геометрией.

Причина расхождений заключается в том, что проектное решение часто кор-



Ст. «Каховская», пространство RealView в Autodesk ReCap (изображение предоставлено АО «Метрогипротранс»)

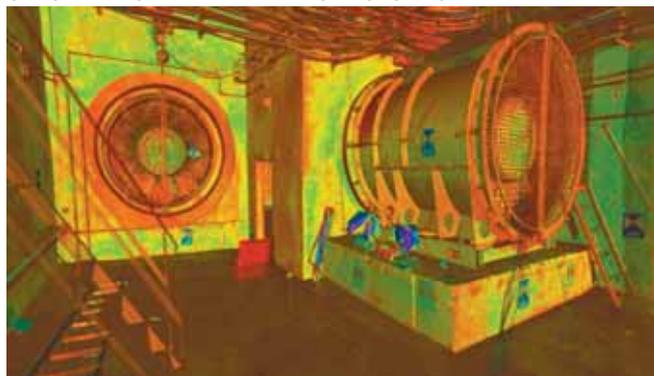
У бригады из четырех человек полевые работы заняли три месяца, при этом сканировали только в «ночное окно» продолжительностью примерно два часа для тоннелей и порядка пяти часов – для станционных объектов. С тахеометром на полевой этап со сбором аналогичного количества данных ушло бы не менее полутора лет.

ректировалось строителями «по месту». Эти корректировки не отражены на проектных чертежах, исполнительная документация либо утеряна, либо также не соответствует фактическому положению вещей, что может привести к серьезным проблемам при реконструкции. Задачу по актуализации исходных данных трех станционных комплексов Каховской линии и отдельных участков перегонных тоннелей для реконструкции предстояло

решить сотрудникам Метрогипротранса. Согласно плану правительства Москвы, все объекты метрополитена с 2021 г. должны проектироваться по технологии ВМ. В связи с этим было принято решение уже на этом проекте приступить к созданию «фундамента» ВМ-процессов в институте. «Фундаментом» в данном случае стала исполнительная ВМ-модель, полученная на основе данных лазерного сканирования.

Облако точек в Autodesk ReCap

(изображение предоставлено АО «Метрогипротранс»)



Облако точек в Autodesk ReCap

(изображение предоставлено АО «Метрогипротранс»)



Исполнительная BIM-модель

На первом этапе работ специалисты Метрогипротранса создали планово-высотную геодезическую основу всей Каховской линии метрополитена. Это позволило получить единую систему координат для участков работ, на которых предполагалось сканирование. На втором этапе начались работы непосредственно по лазерному сканированию объектов, уравниванию «сырых» данных сканирования и созданию облаков точек в Autodesk ReCap. На основе



Модель Revit, созданная на основе облака точек (изображение предоставлено АО «Метрогипротранс»)

Лазерное сканирование позволяет получить полный объем информации о реальной геометрии объекта.

полученных данных в Autodesk Revit создавался комплект плоских чертежей и исполнительная BIM-модель.

Ниже курсивом приводятся комментарии специалистов института.

– *Есть мнение, что обрабатывать данные лазерного сканирования в Revit не рационально*, – говорит Константин Баранов, ведущий инженер АО «Метрогипротранс». – *На рынке есть ряд специализированных программ для работы с данными лазерного сканирования. Однако для нашей задачи Revit был оптимальным решением. Ведь на выходе нам нужна была BIM-основа со взаимосвязанными элементами. В итоге мы оценили достоинства Revit: его фантастически удобное рабочее пространство, инструменты настройки текущего диапазона, уровни, видовые экраны, шаблоны. Меньший по сравнению со специализированным ПО функционал моделирования геометрии объектов свободной формы этой программой с лихвой компенсируется удобством работы с данными.*

2D-чертежи оформляли в Autodesk Civil 3D. В нем восстанавливалась геометрия и пикетаж фактических осей путей и станционного комплекса. Чертежи оформлялись с помощью аннотационных инструментов, для создания высотных отметок на планах использовались COGO точки. Команда работала в едином проектом пространстве Autodesk BIM 360.

Задачи

- Комплект 2D-чертежей и 3D-модели линейно-протяженного сооружения
- Очистка модели от «цифрового шума»
- Совместная работа четырех специалистов

Благодаря использованию облачного сервиса у нас появилась возможность удаленной работы с проектом, исчезла проблема конфликта версий. Сейчас мы имеем более широкий функционал для поддержания комфортного уровня взаимодействия в рамках единого рабочего пространства.

Использование возможностей BIM 360 для анализа и сравнения версий позволяет отслеживать динамику развития проекта.

Лазерное сканирование выполнялось на действующих объектах метрополитена, что вызывало определенные проблемы. Помещения часто были труднодоступны, например, скрыты за сплошной стеной силовых кабелей. Одним из инструментов контроля качества стала связь обработанных данных лазерного сканирования и облака точек в ReCap, реализованная с помощью Navisworks и инструмента RealView в ReCap. В нем полученные чертежи или элементы модели совмещались со сферическими панорамными фото, привязанными к облаку точек. Это позволило устранить разночтения в интерпретации элементов во время обработки данных.

– *Другой нюанс связан с тем, что заказчик или проектировщики, для которых выполняются работы, редко могут сформулировать требования к уровню проработки данных лазерного сканирования*, – продолжает заместитель главного инженера АО «Метрогипротранс» Павел Дмитриевич Павлов. – *Обычно они имеют дело с чертежами, где углы прямые, стены ровные, комнаты расположены параллельно. По факту все иначе: прямые углы – редкость, а соседние комнаты запросто могут оказаться под углом друг к другу. Поэтому подход к работе с данными сканирования должен отличаться от традиционного. Но здесь важно не перестараться, иначе проект окажется неподъемным.*

Решения

- Работа с данными сканирования в Revit, оформление чертежей в Civil 3D
- Пространство RealView в Autodesk ReCap
- Единая модель в Autodesk BIM 360

Скорость и безопасность

Благодаря использованию лазерного сканирования качество и скорость изыскательских работ существенно увеличились. Так у бригады, состоящей из четырех человек, полевые работы заняли три месяца, при этом сканировали только в «ночное окно» продолжительностью примерно два часа для тоннелей и порядка пяти часов – для станционных объектов. С тахеометром на полевой этап со сбором аналогичного количества данных ушло бы не менее полутора лет. Иногда новые технологии лишь незначительно повышают производи-

тельность и качество, но в случае проведения обмерных работ на эксплуатируемых объектах метрополитена классическая тахеометрическая съемка и лазерное сканирование – просто несравнимые вещи. Наряду с построением модели специалисты искали дефекты бетонных и чугунных конструкций, в том числе в тоннелях, где процесс деформации может идти нелинейно. Классическая технология обследования элементов обделки тоннеля предусматривает съемку сечений с заданным шагом по нескольким контрольным точкам.

– *При работе по классической схеме мы, к примеру, получаем в точке «1» отклонение 20 мм, в точке «2» – 40 мм*, – рассказывает Константин Баранов. – *Все в пределах допуска. Но зона наибольшей деформации может находиться между этими точками. Данные лазерного сканирования позволяют получить полный объем информации о реальной геометрии объекта и обнаружить все критические деформации конструкций.*

Результат

Специалисты АО «Метрогипротранс» выделяют следующие преимущества выбранного ПО, проявившиеся в этом проекте:

- высокая скорость работы Autodesk ReCap даже при объеме облака точек более 400 Гб;
- комфортная работа с данными в 3D-пространстве Autodesk Revit, возможность быстрой настройки видимости, текущего диапазона и разрезов, удобная работа с опорными плоскостями;
- функционал Autodesk Revit по созданию листов, шаблонов, аннотационных семейств;
- работа в едином пространстве Autodesk BIM 360 без необходимости создавать локальные копии;
- аннотационные средства Autodesk Civil 3D для линейных объектов, выставление высот в плане с помощью COGO точек.

В результате изысканий было получено более 1 Тб данных с более чем 1500 станций сканирования. Заказчику были переданы облака точек и двухмерные чертежи, полученные из 3D-модели объекта. Обновленная станция «Каховская» откроется в 2021 г., весь восточный участок Большого кольца – в 2022-м.

Список использованных источников

1. <https://autodesk.ru/bim>

Для связи с автором

Дорман Игорь Яковлевич
igor.dorman@mail.ru



АНАЛИЗ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ СБОРНОЙ ОБДЕЛКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ТОННЕЛЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

А. П. Ледяев, профессор, кафедра «Тоннели и метрополитены», ПГУПС

В. Н. Кавказский, доцент, кафедра «Тоннели и метрополитены», ПГУПС

Т. В. Иванес, доцент, кафедра «Тоннели и метрополитены», ПГУПС

Технология тоннелестроения постоянно развивается, и все более распространенными в мире становятся проектные решения многофункциональных городских тоннелей большого диаметра. Строительство тоннелей большого диаметра позволяет в городских условиях рационально распределять транспортные потоки в едином пространстве и комбинировать различные виды транспорта. В то же время подобные масштабные транспортные проекты имеют широкое влияние как на социальные аспекты жизни больших городов, так и на сохранность окружающей среды. Поэтому принятие таких решений требует всестороннего детального анализа. Авторами статьи проанализирован зарубежный опыт строительства тоннелей большого диаметра с целью оценки возможности использования сооружений в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

На современном этапе развития строительства транспортных тоннелей, сооружаемых щитовым способом, все большее распространение получают совмещенные транспортные тоннели, позволяющие размещать в одном сечении разные виды транспорта и более рационально использовать подземное пространство. При этом с конца 90-х годов XX века в мире прослеживался бум строительства тоннелей большого диаметра. Для развития таких амбициозных проектов были разработаны специальные технологические решения, позволяющие сооружать тоннели большого диаметра даже в сложных инженерно-геологических, гидрологических и градостроительных условиях. Проходка тоннелей в таких условиях ведется с применением высокопроизводительных проходческих комплексов на основе механизированных щитов с активным пригрузом забоя, применяемых в сочетании с обделками повышенной водонепроницаемости с профильными герметизирующими прокладками.

Один за другим были побиты мировые рекорды по диаметру обделок пройденных тоннелей. В отечественном тоннелестроении рекордсменом среди тоннелей большого диаметра должен был стать двухъярусный автодорожный тоннель диаметром 19 м в Санкт-Петербурге, проект щита которого разработан немецкой фирмой «Херренкнехт». Однако данный проект не был реализован. Мировые тенденции в области тоннелестроения показывают, что данное направление продолжает активно развиваться. За последние десять лет реализовано более 15 масштабных проектов

Таблица 1

Год пуска	Страна	Проект	Завод изготовитель ТBM	Диаметр, м
2017	США, Сиэтл	Автодорожный двухэтажный тоннель	Hitachi	17,48
2018	Китай, Гонконг	Тоннель Тхюньмунь – Чхеклапкок (Tuen Mun – Chek Lap Kok) автодорожный подводный тоннель	Herrenknecht	17,6
2016	Италия	Автодорожный тоннель Санта Лючия	Hitachi-Zosen EPBM	17,48
2015	Китай	Совмещенный тоннель для автомагистрали и метро г. Ухань	Herrenknecht	15,76
2013	Китай	Shouxiou Lake автодорожный тоннель	Herrenknecht	14,93
2013	Италия	Автодорожный тоннель Кальтаниссетта, Сицилия	NFM Technologies	15,08
2011	Китай	Автодорожный подводный тоннель под рекой Янзы в Шанхае	Herrenknecht	15,43
2013	Новая Зеландия	Автодорожный тоннель	Herrenknecht	14,41
2011	Китай	Автодорожный тоннель Вэйсань, Нанкин	IHI/Mitsubishi/CCCC slurry TBMs	14,93
2012	Китай	Шанхай автодорожный тоннель	Herrenknecht	14,93
2011	Италия	Тоннель на автодорожном шоссе A1 Спарво	Herrenknecht	15,55
2010	Испания	Автодорожный тоннель на шоссе SE-40 Севилья	NFM Technologies	14,00
2010	Китай	Подводный тоннель в Ханчжоу	Herrenknecht	15,43
Незаконченный проект 2009	Россия	Орловский тоннель, Санкт-Петербург	Herrenknecht	19,00

(наиболее значимые проекты приведены в табл. 1), в том числе тоннель Тхюньмунь – Чеклапкок (Tuen Mun – Chek Lap Kok) в Гонконге диаметром 17,6 м. Впечатляет не только грандиозность проекта, но и целый ряд технологических инноваций, которые применила при строительстве тоннеля компания Dragages Hong Kong. Тоннель протяженностью 4,6 км пройден на глубине 50 м ниже уровня моря в грунтах аллювиальных отложений.

Не менее амбициозный тоннель длиной 3,2 км строится в городе Сиэтл в американском штате Вашингтон. Проходка тоннеля диаметром 17,48 м началась в июле 2013 г. и проводилась с применением щита Hitachi, в то время крупнейшего в мире. Строительство велось вдоль побережья залива в слабых уплотненных илистых грунтах и глинах. После нескольких задержек проходка тоннеля была завершена в апреле 2017 г., и для движения автомобилей он открылся в феврале 2019 г. (рис. 1).

Анализ данных статистики показал, что несмотря на сложности строительства тоннелей большого диаметра и их высокую стоимость, интерес к разработке подобных проектов постоянно увеличивается. Растет и спрос на продукцию крупнейших производителей проходческой техники при реализации неординарных проектов в сложных инженерно-геологических, гидрологических и градостроительных условиях.

Так в чем же преимущества совмещенных тоннелей большого диаметра?

С точки зрения эксплуатации тоннели большого диаметра привлекательны, прежде всего, возможностью оптимизации использования подземного пространства и разделения транспортных потоков. Большое поперечное сечение предполагает применять инновационные подходы к размещению транспортных зон в одном пространстве, которые, в свою очередь, позволяют разделить движение городского транспорта и тяжелых грузовых транспортных средств, предоставлять транзитные коридоры на платных автомагистралях, совмещать железнодорожный и автомобильный виды транспорта, а в случае тоннеля в Малайзии – использовать часть тоннеля в качестве перелива ливневой канализации. Различные варианты целевой компоновки поперечного сечения тоннелей представлены в табл. 2.

Современные щиты большого диаметра позволяют механизированно осуществлять замену резцов рабочего органа с помощью манипуляторов, не отправляя работников в зону повышенного давления в передней части машины, что упрощает процедуры обслуживания. Кроме того, улучшенная конструкция уплотнений между хвостовой частью щита и тоннельной обделкой позволяют вести проходку тоннелей при достаточно высоких давлениях грунтовых вод до 17 атм.

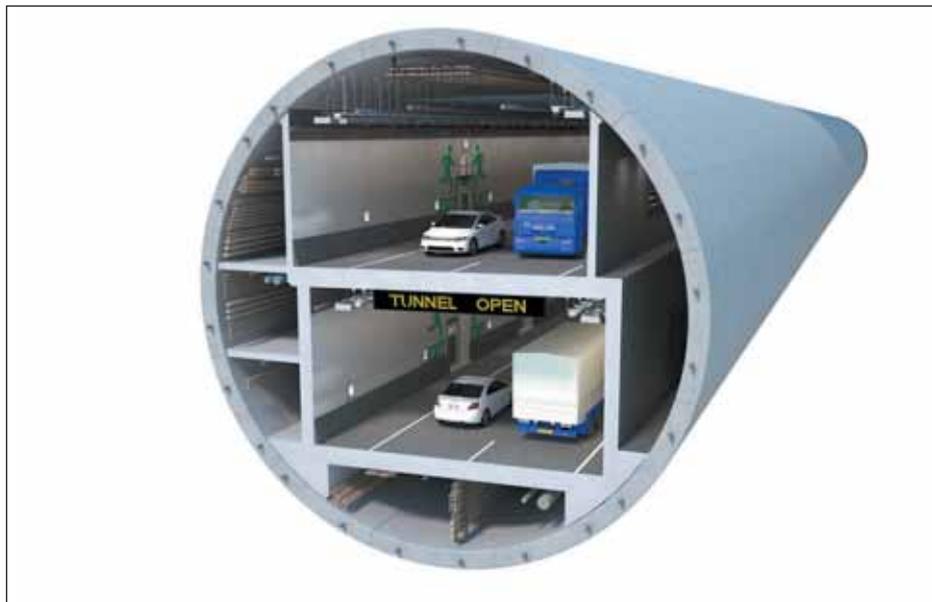


Рис. 1

Таблица 2

Страна	Диаметр щита, м	Тип щита	Назначение	Поперечное сечение тоннеля
Куала Лумпур, Малайзия	13,21	Миксцит	Автотранспорт и ливневая канализация	
Москва, Россия	14,20	Гидропригруз	Автотранспорт и метро	
Наньинг, Китай	14,93	Гидропригруз	Автотранспорт и коммуникации	
Мадрид, Испания	15,20	Грунтопригруз	Автотранспорт и железная дорога	
Шанхай, Китай	15,43	Гидропригруз	Автотранспорт и коммуникации	
Спарво, Италия	15,62	Грунтопригруз	Автотранспорт и коммуникации	

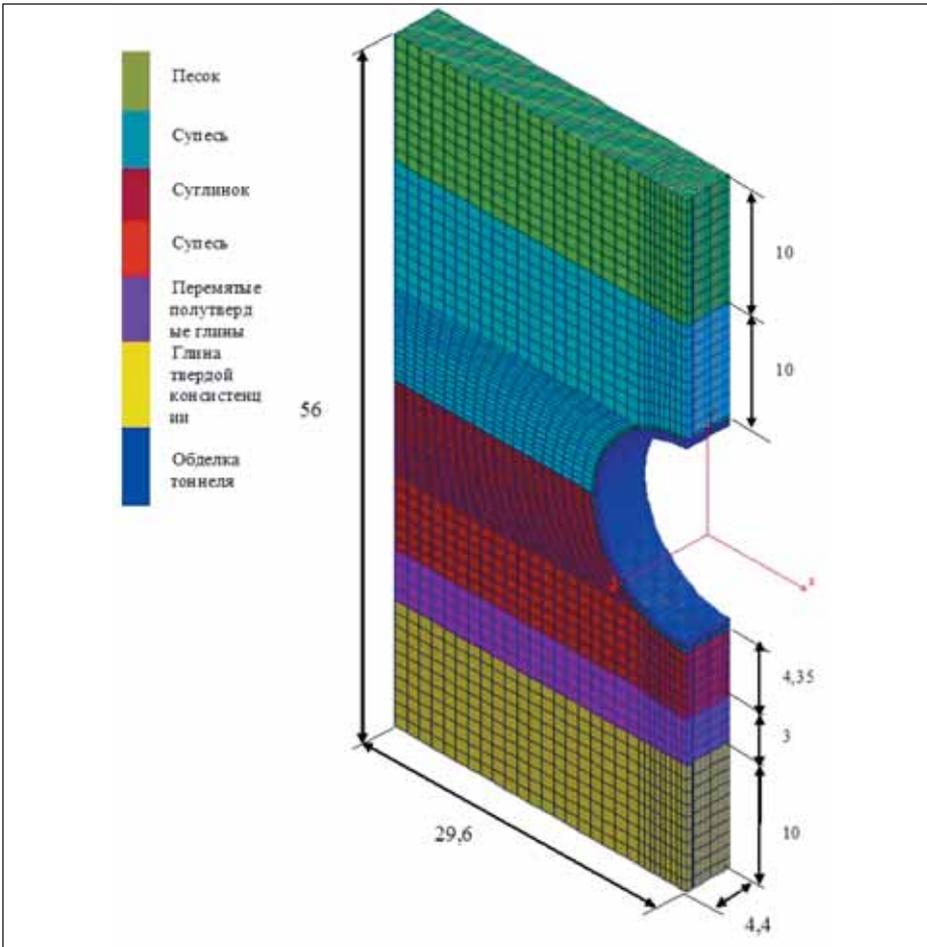
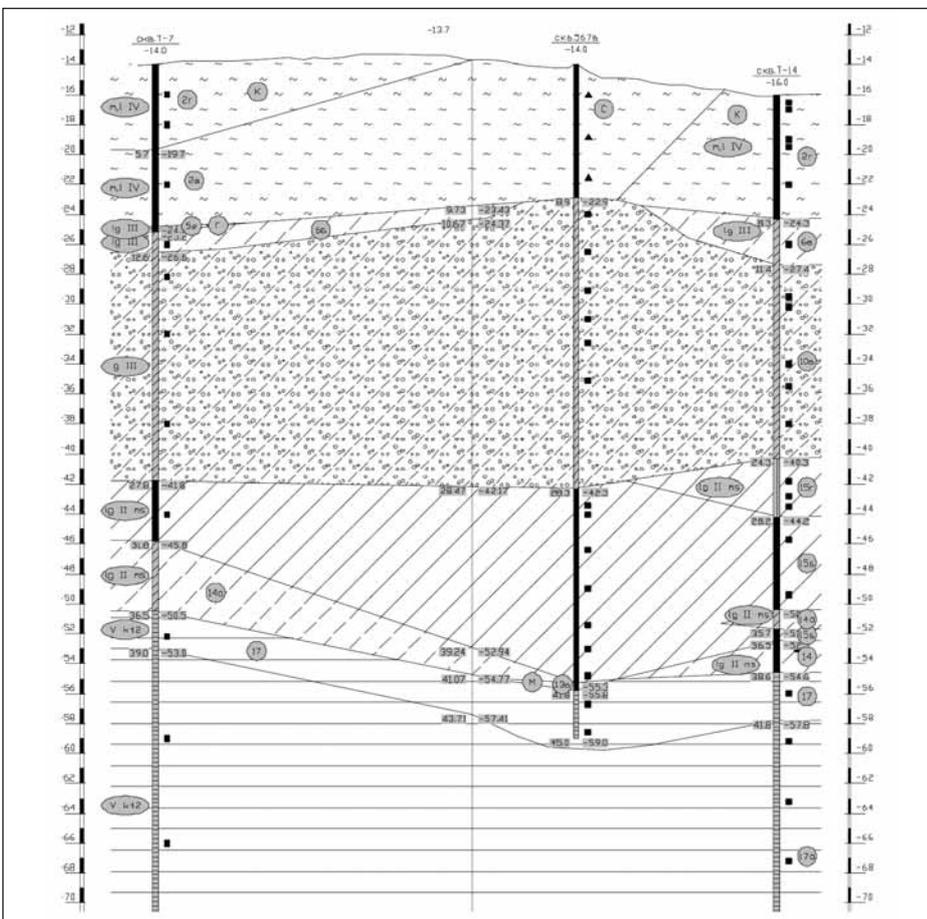


Рис. 2

Рис. 3



И наконец, самое большое достоинство тоннелей большого диаметра – это возможность размещения эвакуационных проходов на случай аварийных ситуаций в поперечном сечении самого тоннеля, а следовательно и отсутствие необходимости сооружения поперечных сбоек между тоннелями. Особенно это важно при сооружении подводных тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях.

Таким образом, сооружение подводных тоннелей большого диаметра в условиях Санкт-Петербурга вполне целесообразно, естественно при соответствующем экономическом обосновании и при тщательном анализе инженерно-геологических условий. Однако использование подобных конструктивно-технологических решений требует тщательных исследований влияния изменения инженерно-геологических условий по трассе тоннеля большого диаметра на напряженно-деформированное состояние сборной обделки, как в стадии строительства, так и эксплуатации.

Строительство тоннелей в таких условиях ведется с применением обделок повышенной водонепроницаемости с профильными герметизирующими прокладками в стыках. Поэтому для анализа напряженно-деформированного состояния обделки была принята сборная конструкция наружным диаметром 19 м, состоящая из 12 железобетонных блоков, связанных наклонными нарезными шпильками в продольных и поперечных стыках. Высота блока – 700 мм, ширина кольца – 2200 мм. Блоки выполнены из бетона класса В50.

Для оценки напряженно-деформированного состояния обделки использовался численный метод расчета, а именно метод конечных элементов (МКЭ). Расчетная схема обделки и вмещающего грунтового массива представлена на рис. 2.

В расчетной схеме грунтовый массив и обделка моделируются объемными призматическими конечными элементами, нарезные шпильки – стержневыми элементами, имеющими общие узлы с узлами обделки.

В поперечном сечении размеры выделенного фрагмента грунтового массива составили $56 \times 59,2$ м. В продольном направлении длина фрагмента массива определялась шириной двух колец обделки – 4,4 м. С учетом симметрии задачи относительно плоскости «YZ» для расчета выделена половина фрагмента конструкции крепи и грунтового массива размером $56 \times 29,6 \times 4,4$ м.

В расчетах рассматривается сечение в подрусловом участке трассы, характеризующего наибольшей глубиной заложения тоннеля. Трасса тоннеля на этом участке пересекает водонасыщенные пески, супеси и суглинки. Ниже расположены перемытые полутвердые глины с прослойками и глинами твердой консистенции (рис. 3). Мощность слоя грунтов над шельгой свода обделки – 20,0 м.

В качестве граничных условий заданы запреты всех перемещений по нижней поверхности массива, запрет всех углов поворота и смещений по осям «X» и «Z» по соответствующим боковым поверхностям, а также запрет углов поворота вокруг осей «X» и «Y» и перемещений по оси «X» – по плоскости симметрии задачи «YZ».

При расчетах рассматривалось два кольца сборной обделки, собранные с учетом перевязки швов (рис. 4). Продольные стыки моделировались в соответствии с их конструкцией: площадь контакта смежных блоков в модели принята $F = 0,75 \text{ м}^2$, причем деформационные характеристики бетона в зоне контакта варьировались с учетом возможности образования пластических шарниров в стыке и характеризовались коэффициентом жесткости стыка. Коэффициент жесткости стыка моделировался исходя из площади и деформационных характеристик контактирующих поверхностей.

Были рассмотрены три варианта жесткости стыка: $K = 1$, $K = 0,5$ и $K = 0,1$.

В поперечных стыках зазор между блоками заполнен древесноволокнистыми прокладками, за исключением участков прерывистого соединения гребень-паз. К обделке примыкает слой тампонажного раствора толщиной 700 мм.

Грунтовый массив и конструкция обделки из бетона и прокладки в стыках представлены в объемных элемента типа SOLID. Нарезные шпильки представлены элементами типа TRASS 3D. Все элементы модели весомые, причем объемный вес слабых водонасыщенных грунтов принят с учетом их взвешенности в воде.

По наружной поверхности обделки прикладывается распределенная нагрузка от гидростатического давления воды, определенного в соответствии с условиями заложения тоннелей на рассматриваемом участке. Величина гидростатического давления принята с учетом минимального уровня воды в реке Неве.

Исследование влияния изменения инженерно-геологических условий по трассе

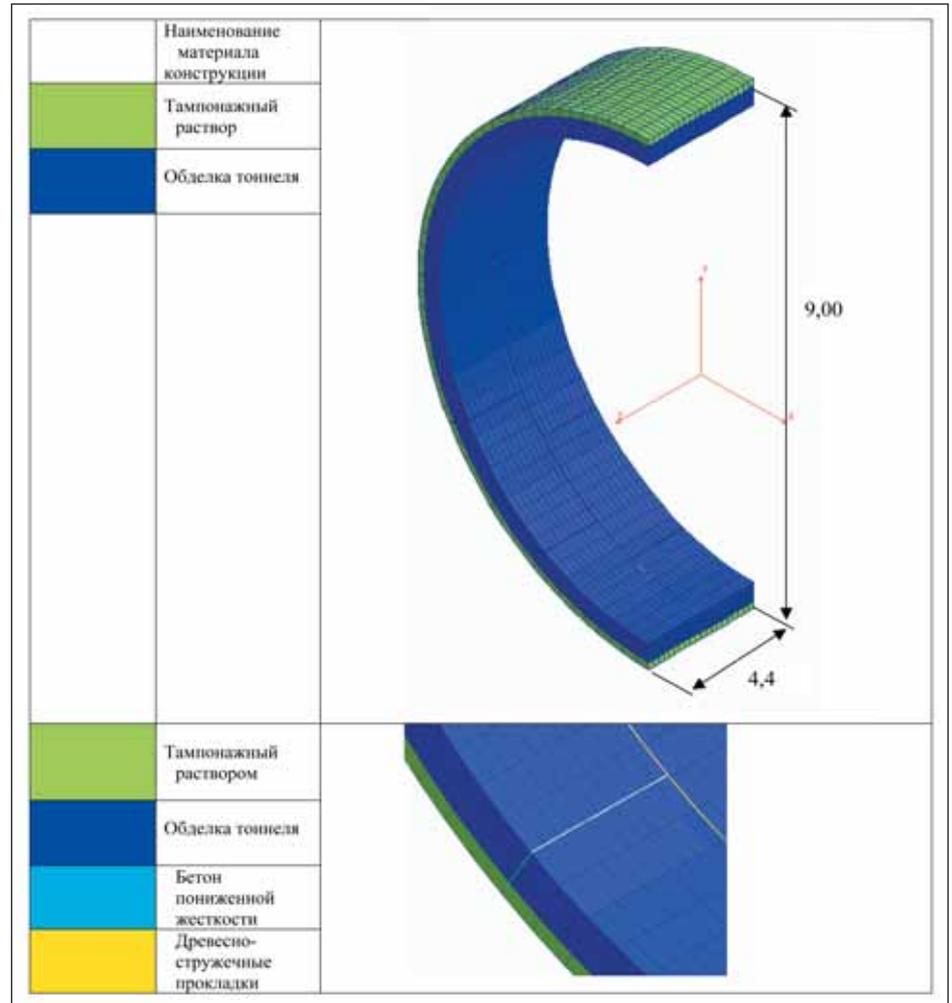


Рис. 4

тоннеля на напряженно-деформированное (НДС) состояние обделки тоннеля проводилось в следующей последовательности.

Первоначально рассматривалось напряженное состояние обделки, расположенной в грунтовом массиве, свойства которого соответствовали инженерно-геологическим условиям на рассматриваемом участке. По результатам расчета получена картина распределения нормальных тангенциальных напряжений (σ_θ) в кольцах обделки (рис. 5). Затем рассматривалось

напряженное состояние обделки, расположенной в грунтовом массиве, деформационные характеристики которого были снижены в 1,5–2 раза по сравнению с первоначальными данными и соответствовали наименьшим значениям этих характеристик по трассе тоннеля. По результатам расчета получена картина распределения нормальных тангенциальных напряжений (σ_θ) в кольцах обделки (рис. 6). Результаты проведенных исследований приведены в табл. 3 и 4.

Рис. 5

Рис. 6

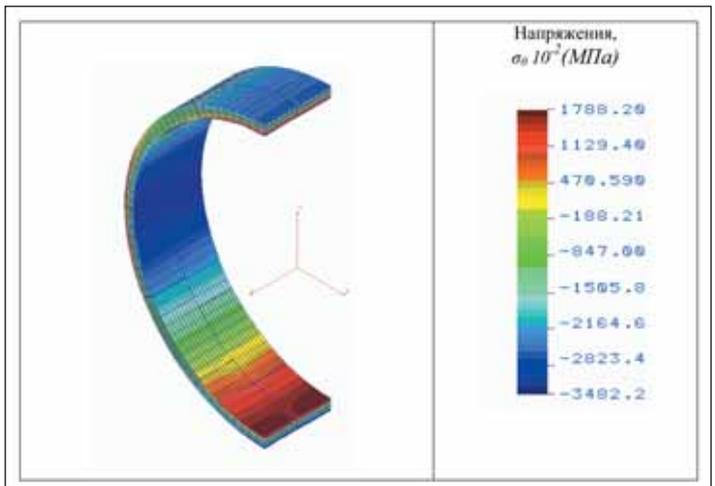
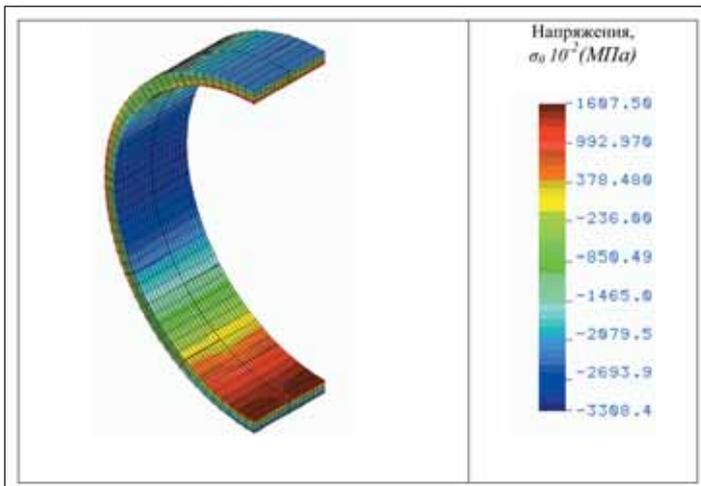


Таблица 3

Показатели	К – коэффициент жесткости стыка	Сечение обделки					
		Горизонтальный диаметр		Вертикальный диаметр			
		Внутренний контур	Наружный контур	Свод		Лоток	
				Внутренний контур	Наружный контур	Внутренний контур	Наружный контур
Напряжения σ_0 (МПа)	K=1	-31,71	12,0	13,5	-25,4	17,3	-31,9
	K=0,5	-31,57	11,7	13,0	-25,0	16,0	-30,5
	K=0,1	-31,14	11,7	12,9	-24,8	15,52	-30,5
Момент, кНм*		1730,8		-1520,0		-1860,0	
Нормальная сила, кНм*	K=0,5	-6954,5		-4200,0		-5425,0	

+ растяжение, – сжатие,
*на 1 погонный метр обделки

Таблица 4

Показатели	К	Сечение обделки					
		Горизонтальный диаметр		Вертикальный диаметр			
		Внутренний контур	Наружный контур	Свод		Лоток	
				Внутренний контур	Наружный контур	Внутренний контур	Наружный контур
Напряжения σ_0 (МПа)		-31,14	11,7	13,2	-24,8	15,8	-30,6
Момент, кНм*	K=0,5	1713,6		-1520,0		-1856,0	
Нормальная сила, кНм*		-6804,0		-4060,0		-5180,0	

+ растяжение, – сжатие,
*на 1 погонный метр обделки

Сопоставления результатов расчета показало, что снижение деформационных характеристик грунта приводит к увеличению деформаций обделки по вертикальному диаметру на 25 % (на 20 мм), а также к увеличению наибольших сжимающих и растягивающих напряжений в обделке, соответственно, на 5 % и 11 %.

При этом нормальные силы в рассмотренных сечениях обделки увеличились на 2–6 %.

На основе анализа напряженно-деформированного состояния сборной обделки тоннеля большого диаметра, проведенного с использованием метода конечных элементов, можно сделать следующие выводы.

Изменение коэффициента жесткости стыков обделки, учитывающего возможность образования пластических шарниров, не оказывает существенного влияния на напряженное состояние конструкции, но сказывается на деформированном состоянии обделки. При изменении коэффициента жесткости стыка в пределах 1–0,10 деформации обделки увеличиваются на 25 %. Поэтому для дальнейшего анализа принимаем усредненное значение $K = 0,5$.

Изменение деформационных характеристик окружающих тоннель грунтов в 1,5–2 раза по сравнению с первоначальными значениями приводит к увеличению на-

ибольших сжимающих и растягивающих напряжений в обделке, соответственно, на 5 % и 11 %. При этом нормальные силы в рассмотренных сечениях обделки увеличились на 2–6 %.

Проведенный анализ результатов расчета показал, что изменение деформационных свойств грунтов в пределах трассы тоннеля не оказывает существенного влияния на напряженное состояние сборной блочной обделки, поскольку диапазон изменения напряжений соизмерим с точностью инженерных расчетов. Однако снижение деформационных характеристик грунта приводит к увеличению деформаций сборной обделки на 25 %. Что существенно может повлиять на пространственную работу конструкции, в частности на деформации обделки и раскрытие стыков в зонах резкого изменения свойств грунта вдоль оси тоннеля.

Таким образом, предварительные исследования статической работы сборной обделки подводного тоннеля большого диаметра в условиях Санкт-Петербурга позволяют говорить о возможности применения таких конструкций. Следует, однако, отметить, что использование подобных конструктивно-технологических решений требует проведения дальнейших исследований влияния инженерно-геологических условий по трассе тоннеля на деформированное состояние сборной обделки тоннеля в продольном направлении, как на стадии строительства, так и в период длительной эксплуатации.

Ключевые слова

Тоннель, обделка, напряженно-деформированное состояние обделки.

Список литературы

1. <https://www.berrenknecht.com>
2. www.AlaskanWayViaduct.org
3. www.tunneltalk.com
4. Общие вопросы проектирования и строительства транспортных тоннелей: учебное пособие / А. П. Ледяев, Д. М. Голицынский, В. Н. Кавказский – СПб: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – 72 с. ISBN 978-5-7641-1010-3
5. А. П. Ледяев, В. Н. Кавказский, Р. О. Креер. Особенности проектирования тоннелей на высокоскоростных магистралях. *Транспорт Урала* / № 4 (47) / 2015
6. *Geomechanical Tasks Solving in Modeling of Temporary Support Parameters in Sochi Tunnels*. Pr. Tatiana V. Ivanesa, Pr. Vladimir N. Kavkazskiy*, Mikbail I. Shidakovb *Transportation Geotechnics and Geoecology*, TGG 2017, 17–19 May 2017, Saint Petersburg, Russia

Для связи с авторами

Ледяев Александр Петрович
pgupstm@yandex.ru
Кавказский Владимир Николаевич
Kavkazskiy_vn@mail.ru
Иванес Татьяна Викторовна
pgupstm@yandex.ru



АРХИТЕКТУРА СОВРЕМЕННЫХ СТАНЦИЙ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Д. А. Бойцов, канд. арх., начальник арх.-стр. отдела ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Второе десятилетие XXI века в метростроительной отрасли завершилось реализацией новых станций на участке Фрунзенского радиуса – осенью прошлого года были открыты три станции на юге Санкт-Петербурга. Всего за этот период в городе были построены и открыты станции «Бухарестская» и «Международная» в 2012 г., вестибюль станции «Спасская» в 2013 г., второй вестибюль станции «Спортивная» в 2015 г., станции «Новокрестовская» и «Беговая» в 2018 г., а также станции «Проспект Славы», «Дунайская», «Шушары» в 2019 г.

Архитектура новых станций спроектирована за семь лет до реализации. Темпы строительства станций, а особенно групп станций при реализации участка линии зачастую связаны с фактором большого временного интервала между первоначальным проектом и его реализацией. Зная эту особенность, архитекторы учитывают в проектах необходимость обращения к образам вне времени, исключают применение сиюминутных модных тенденций, которые к пуску объекта могут устареть. Как правило, идёт поиск образов, связанных с глобальными идеями, а приемы их воплощения основаны в большей части на применении традиционных для метро технических решений и отделочных материалов. Именно такими стали станции «Проспект Славы», «Дунайская», «Шушары». Архитектурные решения станций разработаны авторским коллективом ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» под руководством главного архитектора Н. В. Ромашкина-Тиманова.

Участок линии Фрунзенского радиуса интересен тем, что все станции на нем относятся к разным типам станционных комплексов по типу сооружений, по конструктивным и объёмно-планировочным решениям: пилонная станция глубокого заложения, многопролетная станция мелкого заложения, наземная станция. «Дунайская» – первый в России опыт компоновки станции мелкого заложения под двухпутный тоннель. В связи с разнообразной типологией объектов и различными параметрами пассажирских пространств на этих станциях можно проследить общую тенденцию и специфику оформления.

Стилистика станций различная, но их оформление имеет общую взаимосвязь, связанную с преимущественным применением отделочных материалов, традиционных для Петербургского метрополитена. Стены станций облицованы натуральным камнем, мрамором и травертином. Отделка полов выполнена геометрическими композициями из натурального гранита. Применение натурального камня в интерьерах станций метро за десятилетия эксплуатации отечественного метрополитена сфор-

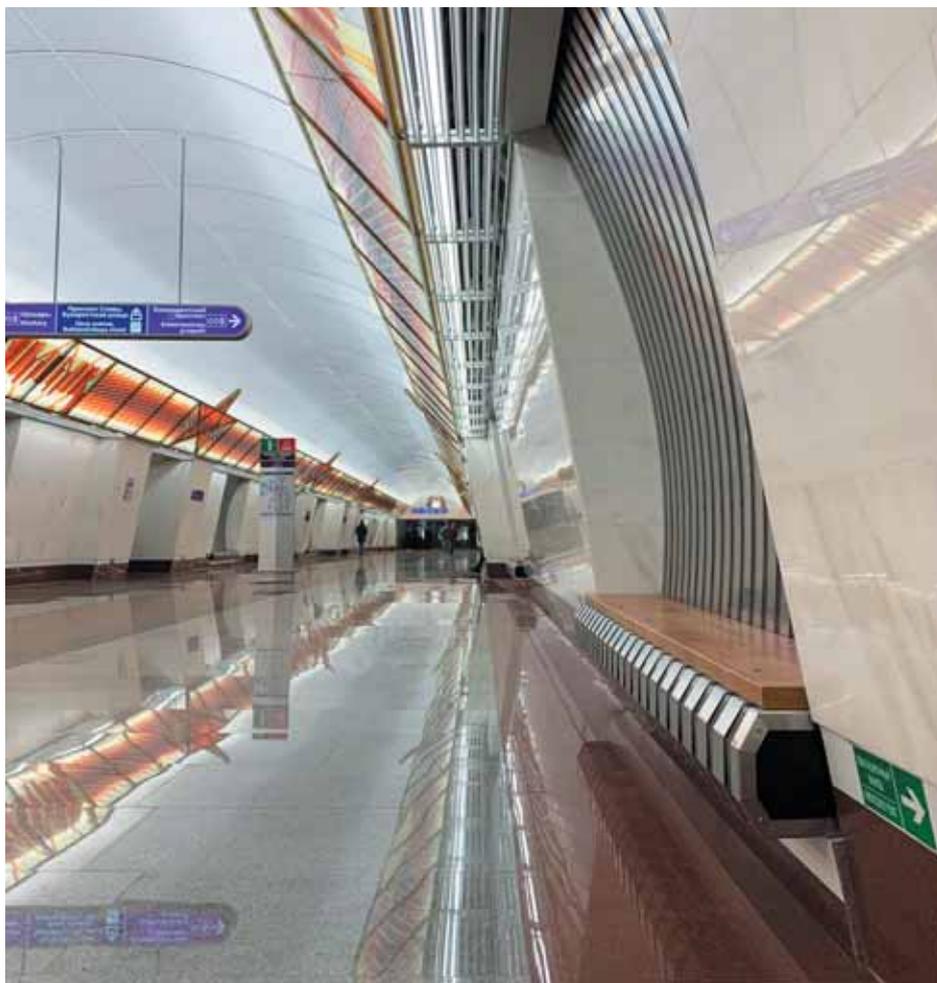


Рис. 1. Станция «Проспект Славы»

мировало особый стереотип восприятия – камень всегда пассажирами воспринимается и оценивается как качественный, долговечный и монументальный материал. Данное восприятие вполне уместно и аргументировано. Ведь для станций метро, появившихся в нашем городе в середине прошлого века, наличие изделий из натурального камня было важным приоритетом формирования комфортной среды общественного пространства. А с учетом того, что все станции являются частью общей подземной транспортной системы, идея взаимосвязи объектов между собой за счет преемственности приемов оформления находит

воплощение в применении материалов, аналогичных историческим прототипам.

Для отделки каждой станции выбрана отдельная цветовая гамма, контрастирующая с соседними: бело-красная для станции «Проспект Славы», сине-песочная для «Дунайской» и фиолетово-кремовая для «Шушар». Это сделано для удобства восприятия и ориентации пассажиров в системе метрополитена.

Станция «Проспект Славы» (рис. 1) разработана и выполнена с применением образов, посвященных славе героев исторических событий. Станция расположена на одноименном проспекте, название кото-



Рис. 2. Станция «Дунайская»



Рис. 3. Витражная композиция станции «Дунайская»

рого посвящено подвигам Красной армии, освобождавшей города восточной Европы – проспект пересекают улицы с названиями именно этих городов (Прага, София, Бухарест, Будапешт). Поэтому главные образы оформления станции, её подземных залов и платформенных участков включают символику и аллегории победы в войне и память о героях тех лет. Для нашей страны данная символика, как правило, ассоциируется с первыми послевоенными десятилетиями, когда создавались главные памятники, посвященные победе и героическим подвигам. Стилистика этих памятников сочеталась с господствующими стилями тех эпох – с ампиром конца 40-х – начала 50-х годов, а также с минимализмом и плакатной графикой искусства 60-х годов.

Для Фрунзенского района с его типовой индустриальной застройкой именно стилистика минималистичной лаконичной графики наиболее уместна. Поэтому обра-

зы в подземных залах пилоновой станции во многом перекликаются с архитектурой ленинградских исторических прототипов. При этом использованы и современные приемы, не применяемые ранее – на всю длину пассажирских залов выполнены витражные карнизы, цветные отблески которых отражаются на белом мраморе стен и белых сводов композитных потолков.

Для наибольшего эффекта отражения цветов применен максимально светлый отечественный мрамор – «Полоцкий».

Архитектурное оформление вестибюлей также посвящено темам Славы. Каждый вестибюль имеет собственную тематику оформления. Связано это с тем, что вестибюли выходят в парки, каждый из которых назван в честь героев разных исторических событий и разного рода службы: парк Интернационалистов и парк Героев-пожарных. Таким образом, каждый из вестибюлей украшен тематическим мозаичным панно и в архитектуре



присутствует характерная торжественная цветовая гамма с включением красной облицовки на белом фоне.

Подземный переход в вестибюле, посвященном подвигам героев-пожарных, дополнен музейной экспозицией, не имеющей аналогов в отечественной и зарубежной практике. Экспозиция включает в себя главные символы пожарных спасателей – автомобильную технику.

Соседняя станция, расположенная на Бухарестской улице возле Дунайского проспекта, названа по наименованию самого проспекта. В архитектуре станции «Дунайская» применены мотивы и образы, посвященные реке Дунай и городам, расположенным на этой реке (рис. 2 и 3). Синяя композиция на потолке символизирует реку, а бежевый цвет стен – ее песчаные берега. На станции применено сочетание традиционных для метрополитена архитектурных приемов и новых необычных решений. К традиционным можно отнести каменную облицовку травертином и гранитом, а также композиции восьмиугольных витражей. Новшество, ранее не применяемое на станциях Петербургского метрополитена – гнущее цветное стекло в отделке. На станции им облицованы все колонны. Материал смотрится монументально и при этом не тяжеловесно, на колоннах отражаются волнообразные блики, поддерживая тематику, связанную с рекой Дунай.

Объемно-планировочное решение станции «Шушары» (проектное название «Южная») изначально заимствовано у аналогичной станции «Парнас», разработанной тем же коллективом авторов. При этом архитектурные решения фасадов принципиально отличаются в связи с контекстом района размещения станции – вокруг неё расположены промышленные сооружения заводов (рис. 4). Архитектура этих промышленных объектов состоит преимущественно из сочетаний ортогональной графики, различных ритмичных элементов и членений. Поэтому для выявления станции в среде промзоны в архитектуре главного фасада применены крупномасштабные витражи сложной ступенчатой конфигурации, воспринимаемой издали как дугообразный силуэт. В ин-

терьерах открытые металлоконструкции ферм фиолетового цвета контрастируют с кремовым саянским мрамором (рис. 5).

Новые станции Петербургского метрополитена своими архитектурно-художественными решениями наглядно иллюстрируют значимость объектов относительно общей системы метрополитена. Эта тенденция характерна для всех объектов метрополитена, реализованных в нашем городе в последние десятилетия. Так, станции, расположенные в центральных районах города или возле значимых городских объектов, выполнены с более сложными, и соответственно, более дорогостоящими решениями, а станции в спальных районах, объекты возле промзон выполняются с более лаконичными и простыми архитектурными решениями. За счет этого в Петербургском метрополитене формируется цельная взаимосвязанная система с главными и второстепенными объектами. Во многом это связано с историей развития нашего метрополитена и с тем важным историческим совпадением, что именно первые станции, создаваемые в историческом центре города, строились в период, когда главенствующий стиль отличался богатым декорированием и разнообразными интерпретациями синтеза искусств.

Для связи с автором

Бойцов Дмитрий Анатольевич
DBoitsov@lmgt.ru

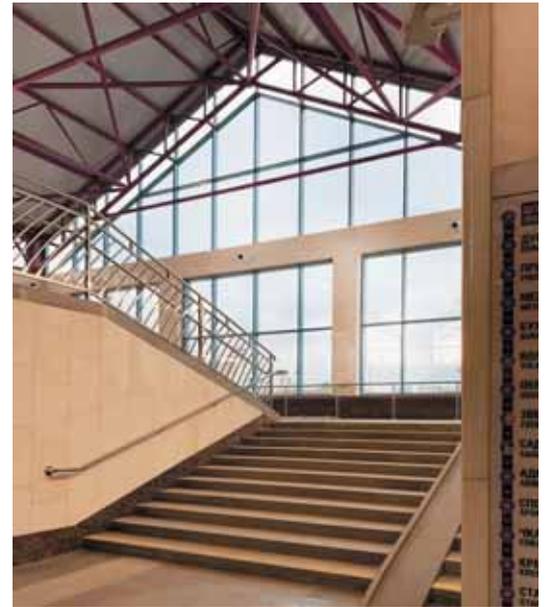


Рис. 5. Интерьер станции «Шушары»



СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ БЕЗБАРЬЕРНОЙ СРЕДЫ В ПОДЗЕМНЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

В. А. Першин, магистрант, Санкт-Петербургский горный университет

На основе сравнительного анализа современного российского и зарубежного опыта формирования безбарьерной среды были рассмотрены различные подходы по её организации в наземных и подземных пространствах. Данная статья покажет какие современные подходы применяются для обеспечения маломобильных групп благоприятными условиями для жизни.

В современном обществе для человека играет большую роль среда его обитания. Комфорт и удобство городской среды, транспортная и пешая доступность – обязательные критерии в вопросах формирования жилых и общественных зданий. И одним из таких мероприятий является формирование безбарьерной среды для людей с ограниченными возможностями. Ведь при учёте этих факторов обеспечивается комфортность жизнедеятельности для различных групп населения – от абсолютно здоровых людей до инвалидов.

В условиях современного развития городов на сегодняшний день остро стоит вопрос подземной урбанистики. Данное развитие обусловлено вопросами комплексного использования подземного пространства, обеспечения оптимальных условий труда, быта, отдыха, передвижения, увеличения открытых городских пространств на поверхности и обеспечения удобной городской среды. С учётом этих тенденций развития образуются определённые решения для свободного передвижения граждан в условиях современной городской среды.

К маломобильным группам населения (МГН) относятся люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой ин-

формации или при ориентировании в пространстве. К маломобильным группам населения относятся: инвалиды, люди с ограниченными (временно или постоянно) возможностями здоровья, люди с детскими колясками и т. п.

При проектировании подземных общественных пространств нужно учитывать доступность для всех групп населения. При грамотных проектных решениях людям проще ориентироваться в пространстве и следовать нужному пути. Необходимо организовывать особые мероприятия для людей с нарушением опорно-двигательного аппарата, зрения и дефектами слуха, которые мешают их полному и эффективному участию в жизни общества наравне с другими, в том числе из-за пространственно-средовых барьеров.

При нарушении этих функций человек может и

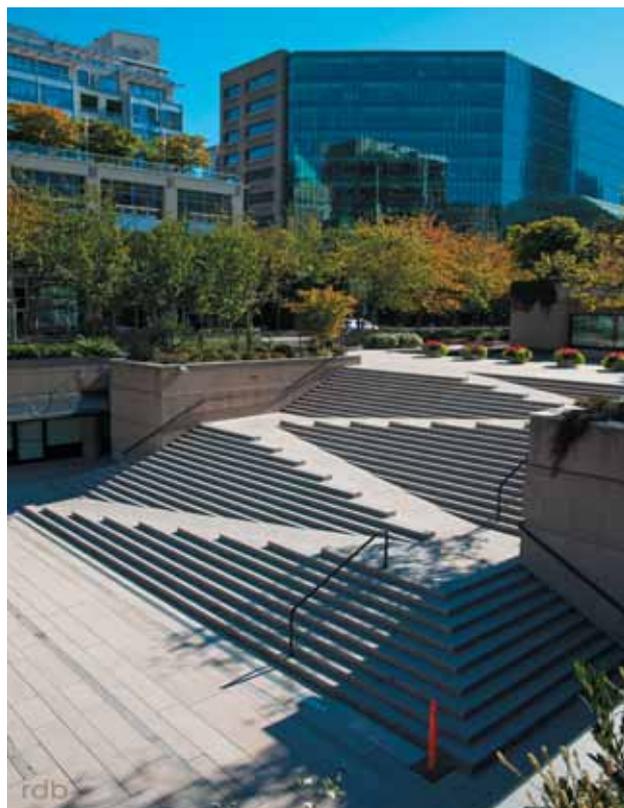


Рис. 1. Лестница-пандус в Галерее искусств, Ванкувер. Архитектор – Артур Эрикссон. <https://www.arthurerickson.com/>

Рис. 2. План развития г. Хельсинки, Финляндия. <https://www.the-village.ru/>



должен использовать приспособления для лучшего ориентирования и передвижения. Стоит иметь в виду, что данные приспособления имеют свои определённые габариты и занимают место в пространстве. Для маломобильных граждан существует своя эргономика, которая и помогает проектировщику учитывать все необходимые мероприятия и выделять пространства для людей с ограниченными возможностями.

В мире существуют интересные архитектурные решения для организации безбарьерной среды. Среди них можно выделить одну из нескольких интересных идей (рис. 1).

Данная идея является удачным примером грамотного проектного решения архитектора адаптации лестничного подъёма, которое исключило необходимость установки дополнительного оборудования для передвижения МГН.

Также, для лучшего ориентирования, в наземных и подземных пространствах предусматривают визуальные средства информации в виде зрительно различимых текстов, знаков, символов, световых сигналов, имеющих повышенные характеристики распознаваемости с учётом особенностей восприятия людьми с нарушением органов слуха. Или же в общественных пространствах организуется комплекс современных технических средств (медиагид), которые действует по принципу индивидуального речевого информирования, благодаря идентификации специальных кодов. Данная совокупность современных средств информирования с типовыми решениями ориентирования поможет всем группам населения свободно передвигаться в городской среде.

Говоря о подземной урбанистике, обратимся к иностранному опыту проектирования и организации подземных пространств. Хельсинки – единственный город в мире, у которого есть чёткий план развития подземных территорий (рис. 2).

Строительство данного проекта запущено ещё в 1972 г. и существует более 400 функционирующих объектов. Под землю ушли многие автомагистрали, торговые центры и спортивные комплексы. Также по данному проекту под землёй образовались общественные зоны, транспортно-пересадочные узлы, паркинги и государственный архив

Подземные переходы спроектированы с учётом всех условий безбарьерной среды (рис. 3).

Метрополитен с его вестибюлями и станциями – центрами притяжения больших масс пассажиров – является основой, как бы скелетом, на который навешана большая часть объектов городской инфраструктуры, размещаемых под городом при комплексном освоении подземного пространства. Это могут быть универмаги, кинотеатры, рынки, оздоровительно-спортивные комплексы и др. [3]

Одним из примеров российского проектирования зданий с учётом доступности для МГН является торгово-развлекательный комплекс «Атмосфера» в Санкт-Петербурге (рис. 4). Здание заглублено торговыми рядами на один уровень вниз и напрямую связано с транспортно-пересадочным узлом метро «Комendantский проспект». Для доступа МГН оборудованы все необходимые мероприятия, а вход на наземном уровне находится на отметке уровня земли.

Выводы

Мероприятия организации безбарьерной среды являются неотъемлемой частью современных проектных решений. Эти задачи архитектуры и ландшафтного дизайна позволяют формировать и адаптировать городское наземное и подземное пространство для людей различных групп населения, исключая все препятствия и барьеры на их



Рис. 3. Подземный пешеходный тоннель в г. Хельсинки, Финляндия. Фото: flickr.com



Рис. 4. Торгово-развлекательный комплекс «Атмосфера», Санкт-Петербург, Россия. Д. Б. Седаков, И. Б. Седаков

пути. Благодаря технологичным решениям человеку становится проще ориентироваться в пространстве, появляется свобода в передвижении. Обращаясь к отечественному и зарубежному опыту и методам проектирования, можно сделать вывод, что современное оборудование и технологии позволяют минимизировать проблемы с перемещением и доступностью для людей. Данные проблемы можно избежать благодаря вдумчивому комплексному проектированию. Или же решить эти проблемы адаптацией современными вспомогательными средствами.

Ключевые слова

Безбарьерная среда, доступность, комфортность жизнедеятельности, ориентирование, свободное передвижение.

Список литературы

1. СП 59.13330.2016 *Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.*
2. СП 35.103.2001 *Общественные здания и сооружения, доступные маломобильным посетителям.*
3. Кулагин Н. И. *Пересадочные узлы на линиях метрополитена глубокого заложения. М.: Центр «ТИМР», 2000. 124 с.*
4. <https://www.tbv-village.ru/village/city/infrastructure/118080-inostrannyj-opyt>
5. <http://www.mining-enc.ru/p/podzemnaya-urbanistika>

Для связи с автором

Першин Владимир Александрович
pershin_arch@mail.ru



КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЕНСАЦИОННОГО НАГНЕТЕНИЯ

А. К. Нефедьева, генеральный директор ООО «Синерго»

А. П. Нефедьев, директор по развитию ООО «Синерго»

М. И. Баженов, руководитель службы технологического сервиса ООО «Синерго», к. т. н.

А. В. Александров, АО «Институт Гидропроект», к. т. н.

В. А. Алексеев, заведующий лабораторией кафедры ТВВиБ НИУ МГСУ

При новом строительстве в условиях плотной застройки крупных городов часто возникает необходимость мероприятий по обеспечению сохранности существующих сооружений, попадающих в зону влияния строительных работ. Одним из эффективных способов в современном строительстве, позволяющим гибко регулировать сверхнормативные осадки конструкций, вызванные влиянием подземного строительства, является способ компенсационного нагнетания (КН) [1].

Основная задача данного метода – не допустить ненормативные просадки в зоне влияния, проявившиеся в ходе геотехнических работ, таких как проходка тоннелей, устройство котлованов и других заглубленных сооружений. Во время проектирования геотехнических сооружений на данный момент применяется расчетный метод прогнозирования осадок зданий и сооружений, для расчета которых используются такие программы как «Z-Soil», «Plaxis», «Nastran» и др. [4, 5]. На основе расчетов оценивается целесообразность применения метода компенсационного нагнетания, рассчитываются объемы нагнетаемых растворов и режимы нагнетания. Подход с применением расчетного метода показал свою эффективность на многочисленных объектах при строительстве Московского метрополитена.

Вместе с тем, нередко приходится решать задачу не только предотвращения (компенсации) осадок, вызванных проходкой подземных сооружений, но и задачу восстановления первоначального положения сооружений, претерпевших осадки. Эта задача может быть решена с помощью метода управляемого компенсационного нагнетания (УКН), позволяющего выполнить подъем сооружения за счет инъекции в грунт необходимых объемов специальных строительных материалов, располагающихся в строго определенных местах под сооружением [2, 3].

Проблема

В процессе проектирования мероприятий по сохранности и выравниванию сооружений по технологии компенсационного нагнетания в большинстве случаев используется только расчетный метод, на основе не всегда точных геологических данных. Расчетный метод не может максимально точно определить такие технологические параметры метода КН или УКН, как объем нагнетаемого раствора, режимы нагнетания растворов (скорость, давление), а также объем потерь раствора в процессе инъекции.

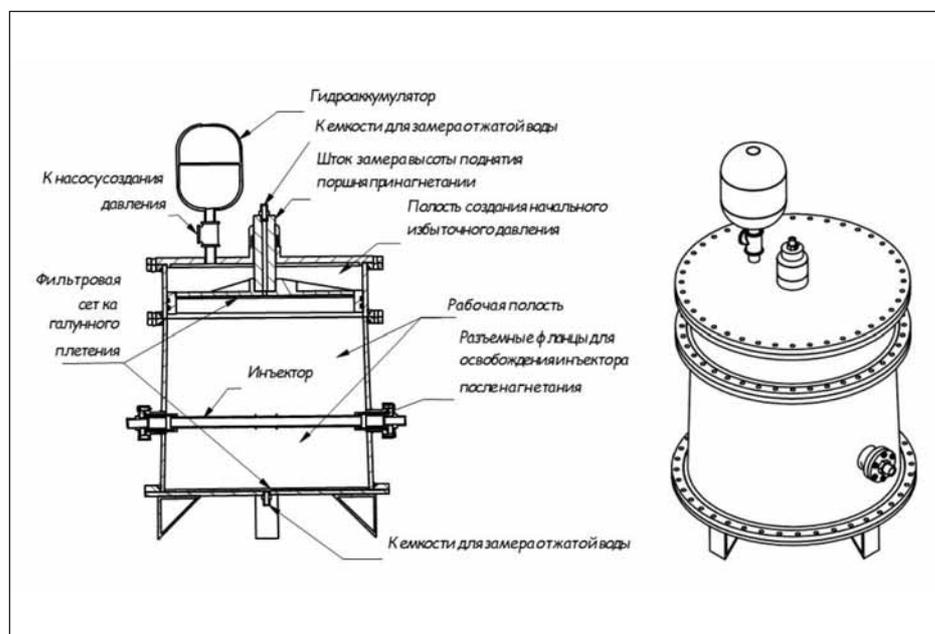


Рис. 1. Схема модели объемных исследований нагнетаний (МОИН)

Решение

В данной статье рассматривается концепция методики решения задач, связанных с применением технологии КН и УКН, включающая подтверждение проектных решений с помощью комплекса лабораторных исследований, заключающихся в моделировании параметров грунтового массива, в котором предполагается применение метода компенсационного нагнетания. Это является важнейшим параметром, влияющим на эффективность метода и точность расчета объемов закачиваемых растворов.

В процессе проектирования проектные организации для выбора метода компенсационного нагнетания используют эмпирические данные геотехнических исследований, а также конструктивные решения и нагрузки от зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительных работ. Однако опыт реализации проектов с компенсационным нагнетанием по различным технологиям, различной номенклатурой оборудо-

вания и материалов в различных инженерно-геологических условиях, пока не позволяет выполнить точную корреляцию проектных параметров и технологических режимов выполнения СМР при реализации методов компенсационного нагнетания.

Авторами разработана комплексная концепция лабораторных испытаний, позволяющая работать непосредственно с образцами грунта с места предполагаемых работ на специальном стенде методом лабораторного иньектирования предлагаемых составов непосредственно в физической модели и, соответственно, прогнозировать реакцию массива на закачиваемые объемы. Это позволяет уточнять необходимые параметры в расчетной модели при разработке проекта.

Используя информацию, полученную в ходе предпроектных лабораторных изысканий, можно не только уточнить параметры моделирования реальных условий, но и получить более точные данные по положению и объемам инъекций, которые в последую-



Рис. 2. Общий вид МОИН

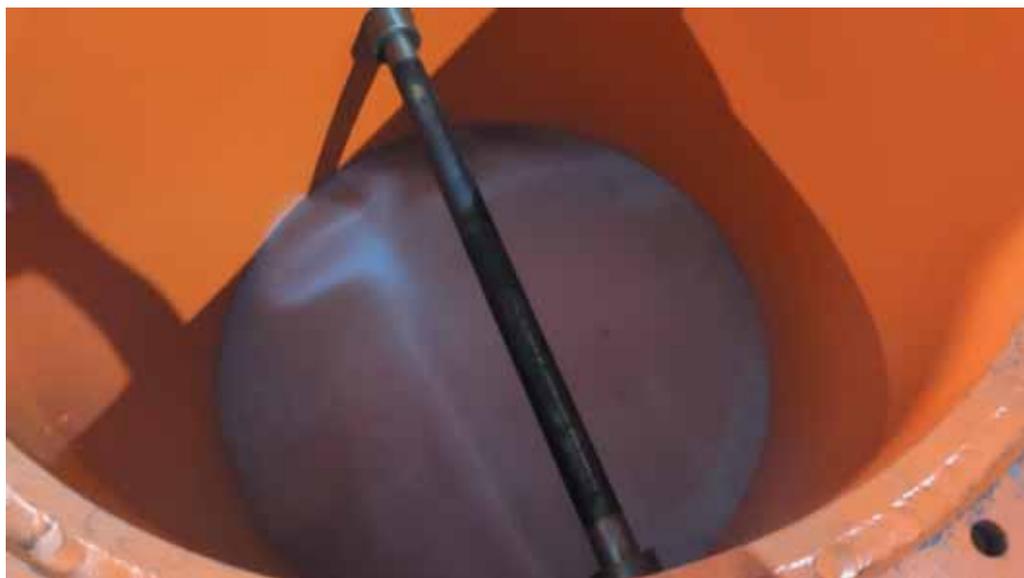


Рис. 3. Манжетная колонна, установленная внутри МОИН

щем можно внести в проектную документацию. Кроме того, данный подход позволяет более точно задать ограничения по режиму инъектирования, чтобы снизить потери и выполнить уточненный прогноз распространения инъецируемых материалов с соответствующим повышением эффективности строительно-монтажных работ. Также в процессе проведения испытаний уточняются технологические параметры: объемы нагнетаемых растворов, давление, расход раствора при нагнетании и другие данные, которые позволяют выполнить проектирование с максимальной точностью и достоверностью. Авторы полагают, что данный подход необходимо сделать обязательным при разработке проекта и выполнении работ с использованием технологии КН и УКН.

Процесс решения

Лабораторные испытания на большой объемной модели

Для адаптации расчетных параметров, закладываемых в расчетные обоснования проектов и регламентов мероприятий при использовании технологии компенсационного нагнетания, была разработана модель объемных исследований нагнетаний (МОИН) (рис. 1). Модель подобного типа была разработана ранее АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» [5] на основании модели А. Безуйжена [6, 7], однако предлагаемая авторами модель МОИН имеет ряд существенных отличий.

Модель объемных исследований нагнетаний (МОИН) представляет собой металлический цилиндр диаметром рабочей камеры 1 м и высотой 0,8 м, в центре которой располагается участок манжетной колонны (рис. 2 и 3). Отверстия манжетной колонны защищены от попадания в них грунта резиновой манжетой. В верхней части модели расположен подвижный поршень, имитирующий давление грунта и вес сооружения.

При проведении опытов значение давления поршня на уложенный в МОИН проект-

ный грунт устанавливается в зависимости от проектной задачи. В массиве грунта, укладываемого в модель, расположены датчики давления, которые позволяют в режиме реального времени регистрировать параметры нагнетания растворов.

Данные параметры позволяют определять возникающие в грунтовом массиве напряжения и соответственно коррелировать расчетные напряжения и сопряженные с ними режимы и объемы закачки для закладки в исходную расчетную модель.

В отличие от большой объемной модели АО «ВНИИГ», модель МОИН позволяет выполнять исследования измененных в ходе КН грунтов и инъекционных материалов без послойной их разборки.

Выводы

1. Метод компенсационного нагнетания является гибкой технологией, позволяющей сдерживать осадки конструкций в стабильном состоянии, а метод управляемого компенсационного нагнетания – добиваться подъема основания конструкций, однако эффективность инъекций сложно прогнозировать в расчетной модели на стадии проектирования.

2. Предлагаемая методика комплексных предварительных исследований с использованием МОИН позволяет учитывать характеристики местных грунтов в предполагаемых зонах нагнетания и, соответственно, коррелировать эффективность, параметры и объемы нагнетания, что дает возможность управлять технологией компенсационного нагнетания даже при высоких значениях осадок сооружений; использовать технологию при устранении аварийных ситуаций, возникающих при выполнении общестроительных работ в условиях плотной городской застройки.

Ключевые слова

Компенсационное нагнетание, инъекции, управляемый подъем.

Список литературы

1. М. Г. Зерцалов, А. Н. Симутин, А. В. Александров. *Технология компенсационного нагнетания для защиты зданий и сооружений.* // Вестник МГСУ. – 2015. – № 6. – С. 32–40.
2. Е. Н. Беллендир, А. В. Александров, М. Г. Зерцалов, А. Н. Симутин. *Защита и выравнивание зданий и сооружений с помощью технологии компенсационного нагнетания.* // Гидротехническое строительство. – 2016. – № 2. – С. 15–19.
3. А. В. Александров: *Разработка и обоснование метода выравнивания гидротехнических сооружений, подвергшихся ненормативным осадкам.* Дисс. к. т. н., [Место защиты: Моск. гос. строит. ун-т]. – Москва, 2018. – 172 с.
4. А. Н. Симутин: *Методики расчёта параметров компенсационного нагнетания для управления деформациями оснований зданий и сооружений.* Диссертация ктн, [Место защиты: Моск. гос. строит. ун-т]. – Москва, 2015. – 165 с.
5. Зерцалов М. Г., Симутин А. Н., Александров А. В. *Расчетное обоснование управляемого компенсационного нагнетания при подъеме модели фундаментной плиты Загорской ГАЭС-2.* // Гидротехническое строительство. – 2018. – № 8. – С. 2–6.
6. Bezuijzen, A. *Laboratory tests, compaction or compensation grouting / Bezuijzen, R. Kleinlugtenbelt, A.F. van Tol.* // *Physical Modelling in Geotechnics*, № 6. – London, 2006. – pp. 1245–1251.
7. Bezuijzen A. / *Compensation grouting in sand: Experiments, field experiences and mechanisms.* – 2010.

Для связи с авторами

Нефедьева Анастасия Константиновна
info@metakaolin.ru
Нефедьев Алексей Павлович
nap@metakaolin.ru
Баженов Марат Ильдарович
bajenov.m@gmail.com
Алексеев Вячеслав Александрович
634586@mail.ru

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ЧУГУННО-БЕТОННОЙ КРЕПИ

Е. В. Колонтаевский, 1-й заместитель генерального директора ООО «ГСК-Шахтпроект»

А. А. Мишедченко, ведущий инженер ООО «ГСК-Шахтпроект»

Согласно современным геологическим данным новых калийных месторождений России, на глубинах более 250–300 м располагаются напорные водоносные горизонты, в некоторых случаях с присутствием трудно-замораживаемых рассолов. В таких сложных гидрогеологических условиях, под защитой ледопородного ограждения, принято применять комбинированную чугунно-бетонную крепь. Тюбинги соединяются между собой болтами с гайками и гидроизоляционными шайбами, в стыке между тюбингами устанавливаются вертикальные и горизонтальные свинцовые прокладки. Водонепроницаемость крепи достигается путем тампонажа закрепного пространства и чеканкой соединительных швов тюбинговых колец. Водоприитоки, которые могут возникнуть в результате некачественной гидроизоляции, достигают порой значительных размеров и способны привести к потере всего месторождения.

В статье не рассматриваются вопросы, связанные с консолидацией крепи, а обращено внимание только на эффективность применения свинцовых прокладок в вертикальных и горизонтальных швах тюбинговой крепи. В этом направлении работали такие известные ученые как Ю. П. Ольховиков, А. Н. Андреичев, В. А. Федюкин и другие. На основе этих данных и производственном опыте ООО «ГСК-Шахтпроект» предлагает применить альтернативный способ гидроизоляции шахтной тюбинговой крепи, используя профили EPDM, широко применяемые для гидроизоляции железобетонных блоков при строительстве железнодорожных, автодорожных тоннелей и метрополитенов. Проведенные расчеты и лабораторные исследования ООО «ГСК-Шахтпроект» и Datwyler подтвердили возможность применения профилей EPDM в качестве гидроизоляции чугунной крепи.

В настоящее время в России ведется развитие и разработка новых месторождений, ранее считавшихся перспективными из-за сложных горно-геологических условий, глубиной заложения от 700 до 1200 м. Также многие горные предприятия, открытые в XX в., заканчивают освоение близлежащих пластов полезных ископаемых и приступают к углубке стволов, либо вынуждены вести разработку многокилометровых горизонтальных и наклонных выработок для освоения новых залежей вдали основных стволов и проходку новых.

Ведение горно-строительных работ в песчано-глинистых отложениях в ряде случаев существенно осложнено из-за очень низких прочностных параметров этих пород, особенно во влагонасыщенном состоянии. В таких условиях применяют специальный способ – искусственное замораживание грунтов [1, с. 48], являющийся одним из наиболее распространенных и зарекомендованным. Этот способ, как известно, достаточно надежный, но длительность и высокая стоимость работ при его применении весьма значительны и возрастают с увеличением глубины замораживания.

Проведенный анализ состояния проблемы и перспектив строительства глубоких шахтных стволов с мощной толщей неустойчивых обводненных пород глубиной 250–800 м, проходимых способом замораживания, свидетельствует, что технические вопросы проходки и строительства, такие как расчет нагрузок на ледопородное ограждение и на крепь ствола, схема проходки

ствола, вид материала крепи, способ герметизации крепи – далеко не решены.

Тюбинговая крепь является предельно нагруженной конструкцией, работающей при высоких гидростатических нагрузках, изменяющихся от 0 до 60 атм и выше. Спинка отливки воспринимает по наружному контуру гидростатическое давление соответствующего значения. Поэтому с глубиной ствола толщины спинок тюбинговых колец изменяются от 20 до 120 мм с шагом 10 мм. При превышении несущей способности последнего, применяют двухрядную тюбинговую крепь [2, с. 24] или двустенные тюбинги.

Сложности при проходке или вопросы по замене тюбинговой крепи при строительстве новых шахтных стволов в литературных источниках практически не освещены в связи с тем, что это, как правило, носит характер конфиденциальности.

Гидроизоляция крепи и технология ее исполнения

В данной статье рассматривается самый критический период в строительстве шахтных стволов, проходимых способом замораживания – гидроизоляция тюбинговой крепи в период оттаивания ледопородного ограждения. Это сложный процесс, характеризующийся несколькими этапами.

1. Когда происходит просачивание воды через окна ледопородного ограждения и тюбинговая крепь начинает воспринимать полную нагрузку от горного и гидростатического давления.

2. Выполняются работы по гидроизоляции крепи.

Только после оттаивания можно определить, насколько качественно выполнены работы по возведению тюбинговой колонны, в частности, установить степень водонепроницаемости крепи.

Работы по гидроизоляции заключаются в уплотнении вертикальных (радиальных) и горизонтальных (кольцевых) швов тюбингов, болтовых соединений, тампонажных отверстий, соединительных (пикотажных) швов между звеньями крепи и тампонаже закрепного пространства. Работы по гидроизоляции проводятся в две стадии: первичная – до оттаивания замороженных пород и повторная – после полного оттаивания замороженных пород. Первичная гидроизоляция производится по мере установки тюбинговых колец, звена крепи или по окончании проходки и крепления ствола. Для уплотнения вертикальных и горизонтальных швов [3, с. 242] применяют свинцовый шнур, расширяющийся цемент БРЦ, а в стволах калийных месторождений – свинцовые прокладки.

Как известно, оттаивание горных пород начинается с нижней части шахтного ствола [4, с. 16], то есть естественно происходит возникновение растягивающих усилий, что и вызывает либо появление горизонтальных трещин (разрывов), либо расхождение горизонтальных стыков тюбингов. Водоприитоки [5, с. 67], которые могут возникнуть в результате некачественного уплотнения соединительных швов, достигают порой значительных размеров. Так на стволе № 3 Первого Солигорского калийного рудника наблюдалось интенсивное поступление воды в

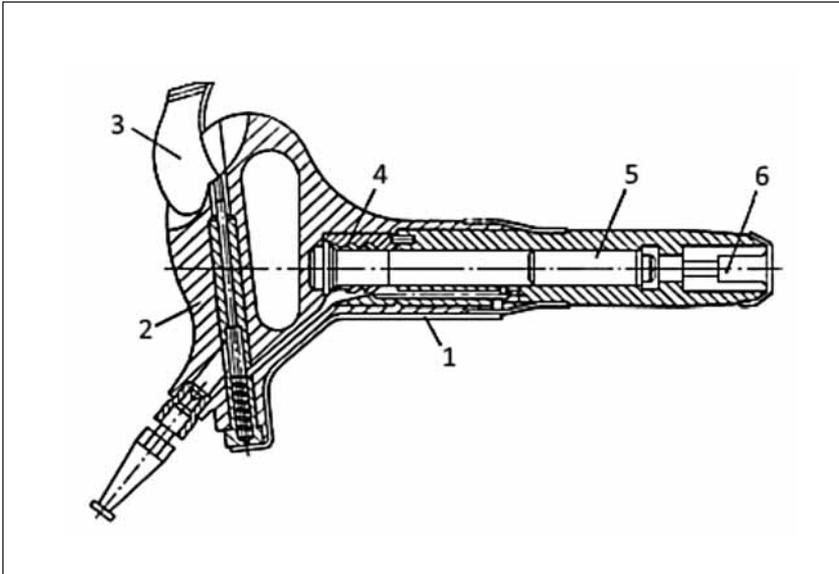


Рис. 1. Молоток рубильный: 1 – ствол; 2 – рукоятка со штуцером; 3 – клапан пускового механизма; 4 – стопорное кольцо; 5 – ударник; 6 – букса

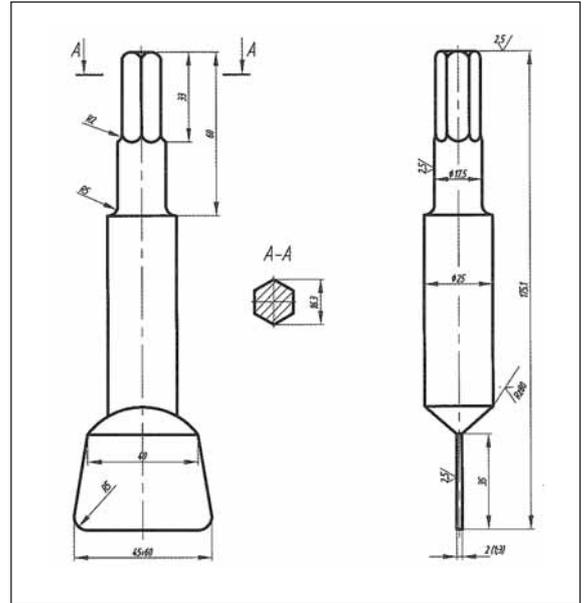


Рис. 2. Чеканочный наконечник к пневматическим молоткам

ствол. Из общего водопритока 130 м³/сут до 40–50 % поступало через соединительные швы, через пикотажные швы – 25–30 %, через болтовые соединения – 30–35 %. Проходку стволов пришлось остановить. С целью ликвидации водопритоков были вынуждены произвести чеканку швов, подтяжку болтовых соединений и нагнетание цементного раствора. В 1957 г. в Польше был затоплен ствол «Сольно-П» в Иноварцлаве, где общий приток через незачеканенные швы тубинговой крепи достигал 600 м³/ч. Имеются и другие многочисленные примеры.

Предложенный Ю. Римером способ гидроизоляции соединительных швов свинцом до настоящего времени является наиболее распространенным, а на калийных месторождениях единственным, хотя были предложены и другие решения для различных типов тубингов, особенно для уплотнения горизонтальных соединительных швов, так как именно они чаще всего являются местом проникновения воды в ствол.

В том случае, когда при возведении крепи снизу вверх применяют свинцовые прокладки, работы по гидроизоляции швов выполняют в следующей последовательности. После приемки очередного сегмента в стволе производят разглаживание свинцовых прокладок и укладку их на кольцевые фланцы. В прокладках пробивают дыры в соответствии с расположением болтовых отверстий, после чего сегмент монтируется в колонну. Вертикальные свинцовые прокладки [6, с. 184] заводят одновременно с установкой сегментов. Край свинцовой прокладки (3–5 мм), выступающий в ствол, расплющивают ударом молотка (рис. 1). Затем при помощи стальной чеканочной лопатки вручную ударами молотка загоняют прокладку в шов.

Уплотнение свинцовой прокладки вглубь шва должно производиться на глубину, примерно 8–10 мм до отказа легкими равномерными ударами пневматического рубильного

молотка со специальным наконечником для чеканки (рис. 2).

Чеканка свинцовой проволоки ничем не отличается от чеканки свинцовых прокладок. Для того чтобы завести в канавки отрезки свинцовой проволоки (шнура), они должны быть предварительно сплющены до соответствующей толщины, примерно равной ширине канавки, в которую они должны быть помещены.

При возведении тубинговой крепи подвешиванием последовательность и характер работ по гидроизоляции швов такой же. Специфика заключается лишь в приемах работ

по установке горизонтальных прокладок, которые крепятся к нижней плоскости ранее установленного (подвешенного) кольца тубингов при помощи различных специальных стопорных устройств.

Из «Временной инструкции по сооружению тубинговой крепи шахтных стволов» следует, что нет принципиального различия в чеканке свинцовой проволоки и прокладки. Как материал, свинец является относительно долговечным и имеет малую прочность на сжатие, правда существенным недостатком является малая упругость.

Таблица 1

	<i>m</i>	<i>q</i> _{0 min}	<i>q</i> _{обж}	[<i>q</i> _{доп}]	<i>E</i> _п ·10 ⁻⁶
		кг/см ²			
Резиновый лист Мягкая резина с тканевой прокладкой или лист из твердой резины Твердая резина с тканевой прослойкой	1,2	25 35 45	35 50 70	180 200 200	0,4·10 ⁻⁴ (1+b/h _п)
Паронит или прессованный асбест	1,6	100	320	1100	0,03
Фторопласт-4	1,4	40	100	400	0,02
Фибра	1,4	400	500	800	0,07
Сплошные металлические прокладки: Мягкий алюминий	2	500	1000	1400	0,7
Мягкая медь	2,4	700	1600	2000	1,1

Значения *q*₀ = *m**p* для плоских прокладок

Материал прокладки	<i>P</i> , кг/см ²	<i>q</i> ₀ , кг/см ²
Резина	До 30 Св. 30 до 100	15+1,7 <i>p</i> 45+0,7 <i>p</i>
Паронит		100+ <i>p</i>
Фторопласт-4	До 100 Св. 100 до 150 До 150	10+ <i>p</i> (<i>q</i> _{min} = 40) 40+ <i>p</i> 40+ <i>p</i>
Фибра		400
Свинец		70 (<i>q</i> _{доп} = 800–900)

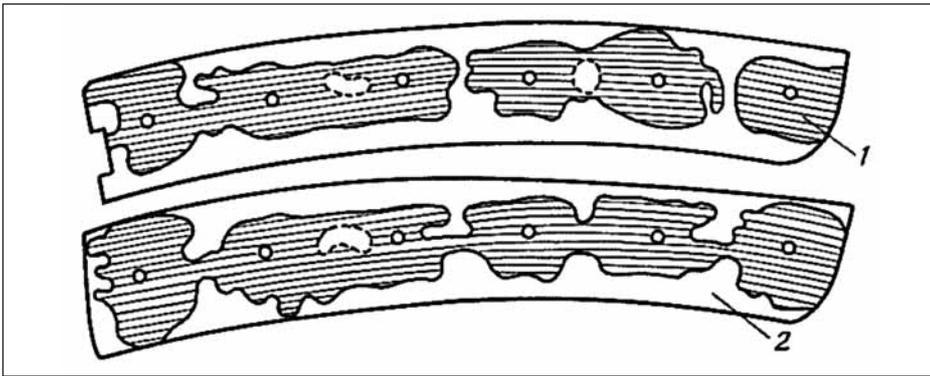


Рис. 3. Свинцовые прокладки со следами внедрения рифления фланцев тубингов: 1 – поверхность со следами рифления; 2 – поверхность без следов внедрения рифления

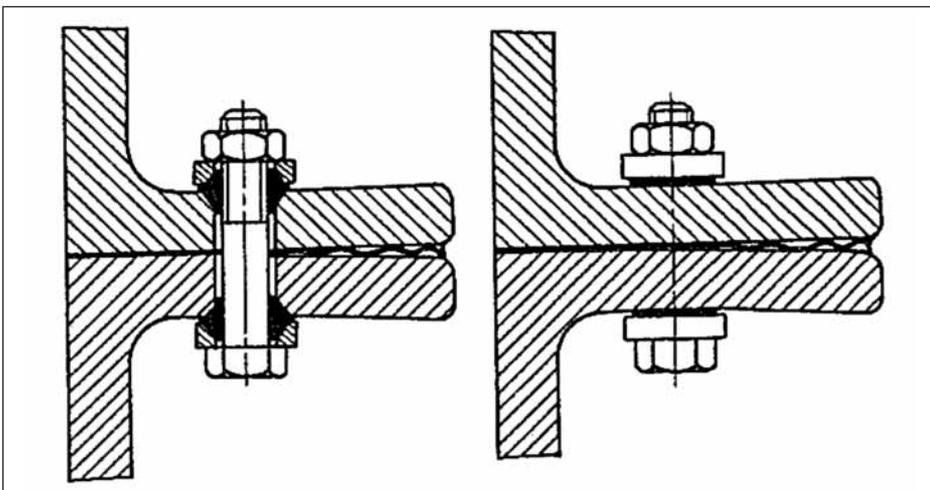


Рис. 4. Схема выталкивания свинца и образования «волн» в свинцовой прокладке соединительного шва при чеканке

Расчет герметичности тубинговой крепи

Для наглядности выполним расчетный анализ герметизации швов между тубингами свинцовой проволокой и прокладкой, тем самым выявим плюсы и минусы.

Современная тубинговая крепь проектируется как фланцевые соединения с контактирующими фланцами. Прокладки уплотняются обычно расчетным усилием затяжки болтовых соединений. В шахтных стволах для стяжки тубингов обычно применяют болты диаметром 30, 36 и 42.

Из теории фланцевых соединений известно, что усилие уплотнения, необходимое для герметизации стыка, определяется по формуле:

$$P_{\text{упл}} = F_{\text{пр}} \cdot q_0,$$

где $F_{\text{пр}}$ – площадь прокладки;

$q_0 = mp$ – давление на контактных поверхностях прокладки, кг/см²

где p – давление воды, кг/см²;

m – прокладочный коэффициент, берут из табл. 1.

Принципом уплотнения является следующее правило.

Давление уплотнения q_0 не должно быть меньше некоторого минимального значения $q_{0 \text{ min}}$, при котором еще не нарушается герметичность. В то же время давление на прокладку должно быть меньше допустимого $q < [q_{\text{доп}}]$. Значения $q_{0 \text{ min}}$, $q_{0 \text{ обж}}$, $[q_{\text{доп}}]$

и q_0 берутся для соответствующего материала по табл. 1.

Расчет уплотнения свинцовой прокладки

Рассмотрим усилия уплотнения для самого узкого тубинга с толщиной спинки 20 мм. Ширина борта горизонтального может быть сделана минимальной – 210 мм. Для кольца в свету 7 м площадь всей круговой свинцовой прокладки:

$$F = \pi(r_{\text{н}}^2 - r_{\text{вн}}^2) = \pi(301^2 - 350^2) = 47566 \text{ см}^2.$$

В многоболтовом соединении предельное (расчетное) усилие на растяжение одного болта:

$$\text{Болт М30} \quad N = 2100 \cdot 5,6 = 11760 \text{ кг}$$

$$\text{Болт М36} \quad N = 2100 \cdot 8,2 = 17220 \text{ кг}$$

$$\text{Болт М43} \quad N = 2100 \cdot 11,3 = 23730 \text{ кг}$$

Усилие сжатия в прокладке

$$\left. \begin{aligned} \text{Болт М30} \quad \sigma &= \frac{N}{F} = \frac{11760 \cdot 6 \cdot 13}{47566} = 19,28 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \\ \text{Болт М36} \quad \sigma &= \frac{N}{F} = \frac{17220 \cdot 6 \cdot 13}{47566} = 28,24 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \\ \text{Болт М43} \quad \sigma &= \frac{N}{F} = \frac{23730 \cdot 6 \cdot 13}{47566} = 38,91 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} \end{aligned} \right\} < 70 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Как видно, ни один приемлемый для данного фланца болт не создает даже половины необходимого уплотнения свинцовой прокладки. Поэтому само размещение свинцовой прокладки в стыке тубинга абсолютно не герметизирует шов затяжкой болтов.

С самого начала применения германского типа тубингов со свинцовыми прокладками никогда не рассчитывали, что герметизация свинца в стыке произойдет в результате обжатия усилием затяжки болтов. Расчет был только на эффект расчеканки свинца в шве. Как свинцовая прокладка, так и расчеканка свинцовой проволоки в желобке «ласточкин хвост» происходит только и только за счет того, что мгновенный удар рубильного молотка создает мгновенный удар по свинцу, переводя его в пластик. При пластической запрессовке в желобке свинец испытывает пластические напряжения сжатия выше 170, но менее 900 кг/см².

После удара нагрузка снимается, но свинец запрессован между двумя неподвижными поверхностями бортов и находится в упругом сжатии с напряжением 170–900 кг/см². Вот только при этом свинцовая прокладка и свинцовая проволока в желобке держат давление гидростатики.

Еще раз подчеркиваем, что расчеканенная в шве свинцовая проволока и расчеканенная в желобке свинцовая проволока держат одно и то же гидростатическое давление воды и поэтому равнозначны. Отсюда ясно, что в результате сблчивания не могут появиться условия, способствующие истечению свинца.

Установка же свинцовых прокладок в стыках при подвижке тубингов, что крайне необходимо в пучащих породах, весьма затруднительна и как правило некачественна. Только применение монтажного кольца [7, с. 11] при проходке стволов улучшило качество данной работы.

Рациональность удержания на месте свинцовых прокладок на фланцах тубингов

При строительстве [3, с. 225] стволов калийных комбинатов Березниковский № 1 и № 2 и Солигорский № 3 применили тубинги, на горизонтальных бортах которых было нанесено концентрическое рифление. Рифление горизонтальных бортов имело целью уменьшить площадь соприкосновения тубингов со свинцовой прокладкой и, тем самым, увеличить удельное



Рис. 5. Железобетонные блоки с гидроизоляционным резиновым уплотнителем

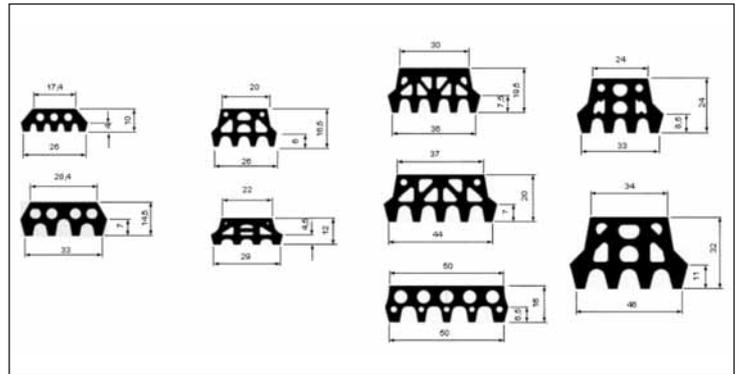


Рис. 6. Разновидность геометрии гидроизоляционных уплотнителей

давление. По предположению при затяжке болтов вершины треугольников рифления должны были врезаться в прокладки, в результате чего должна была повыситься водонепроницаемость крепи. Осмотр демонтированных при перекреплении стволов свинцовых прокладок показал, что такого врезания вершин треугольников рифления не происходит. Расчеты также этого не подтверждают. Впадины рифления заполняются свинцом только во время чеканки на незначительном (30–50 мм) расстоянии от борта. Отказ от чеканочного шва в тубингах объясняется стремлением расклинить свинцовые прокладки при расчеканке между бортами тубингов.

Исследования, выполненные в Уральском филиале ВНИИГалургии, показали, что рифление практически не оставляет следов на свинцовой прокладке, т. е. рифление по ширине фланца, за исключением зоны чеканки, может рассматриваться лишь как искусственно созданная шероховатость. Так, при ликвидации аварии в стволе № 3 Третьего Березниковского калийного рудника был разобран участок тубинговой крепи. Поверхность демонтированных свинцовых прокладок имела лишь слабые следы воздействия рифления. Более того,

часть горизонтальных швов имела следы проникновения цементного раствора в шов на глубину до 150 мм, т. е. свинцовая прокладка с наружной стороны тубинговой колонны не герметизировала шов. На прокладке, нагруженной болтами, в экспериментальных условиях отчетливо видно, что следы рифления имеются лишь на участках около болтов (рис. 3).

Изменение глубины внедрения рифления в свинец по ширине фланца тоже неодинаковое. Некоторое увеличение глубины внедрения наблюдается около болтовых соединений. Очевидно, что такое внедрение рифления никакого влияния на водонепроницаемость соединительного шва не оказывает. Препятствием на пути воды свинцовая прокладка является лишь в зоне чеканки, где заполнение рифления 100 %. Как показывает практика, ширина этой зоны не превышает 25–30 мм от края тубинга, а остальная часть прокладки не выполняет роли гидроизолятора. Экспериментально было показано, что прокладка шириной 50 мм после чеканки удерживает гидравлический напор в 4 МПа. Таким образом, рифление поверхности горизонтальных фланцев тубингов способствует лишь удержанию свинца, увели-

чивает предельно допустимые напряжения в прокладке и сцепление между поверхностью фланца тубинга и свинцовой прокладкой, что при чеканке швов исключает образование волн и выталкивание свинцовой прокладки из шва (рис. 4), как это было зафиксировано при креплении ствола № 2 Второго Солигорского калийного рудника в 1966 г.

Повышение гидроизоляционных характеристик соединительных швов за счет рифления [5, с.71] имеет место только в зоне чеканки. Рифление следует рассматривать лишь как искусственное увеличение шероховатости поверхности фланцев.

Эти факты еще раз подчеркивают, что правильная обработка тубингов [8, с. 157] и тщательная их установка является лучшей гарантией исправного состояния уплотнения тубингового крепления, и что всякого рода особые мероприятия для удержания прокладки – бороздки, впадины, выступы и особенно шероховатая обработка фланцев – совершенно излишни.

Анализ причин разгерметизации стыков фланцевого соединения

Появление разгерметизации стыков фланцевых соединений зависит от различ-

Рис. 7. Шахтный тубинг с посадочным местом для гидроизоляционного профиля

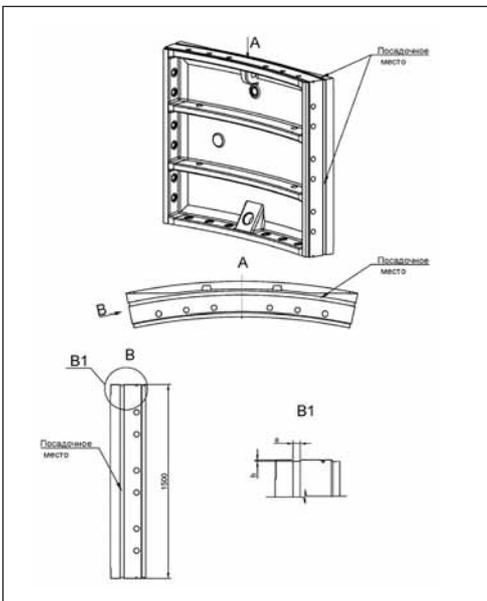
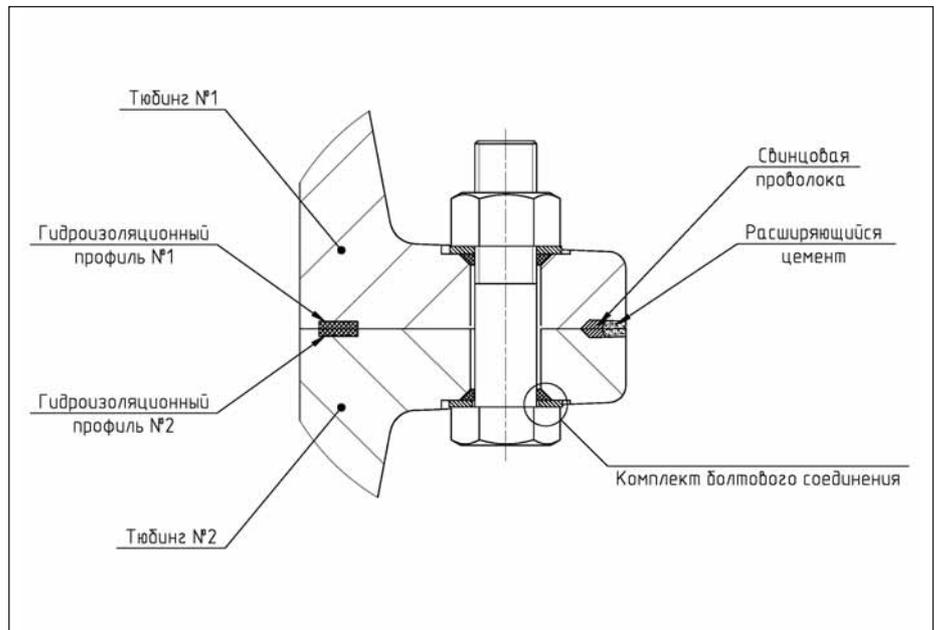


Рис. 8. Узел болтового соединения в затянутом положении с гидроизоляционными уплотнителями



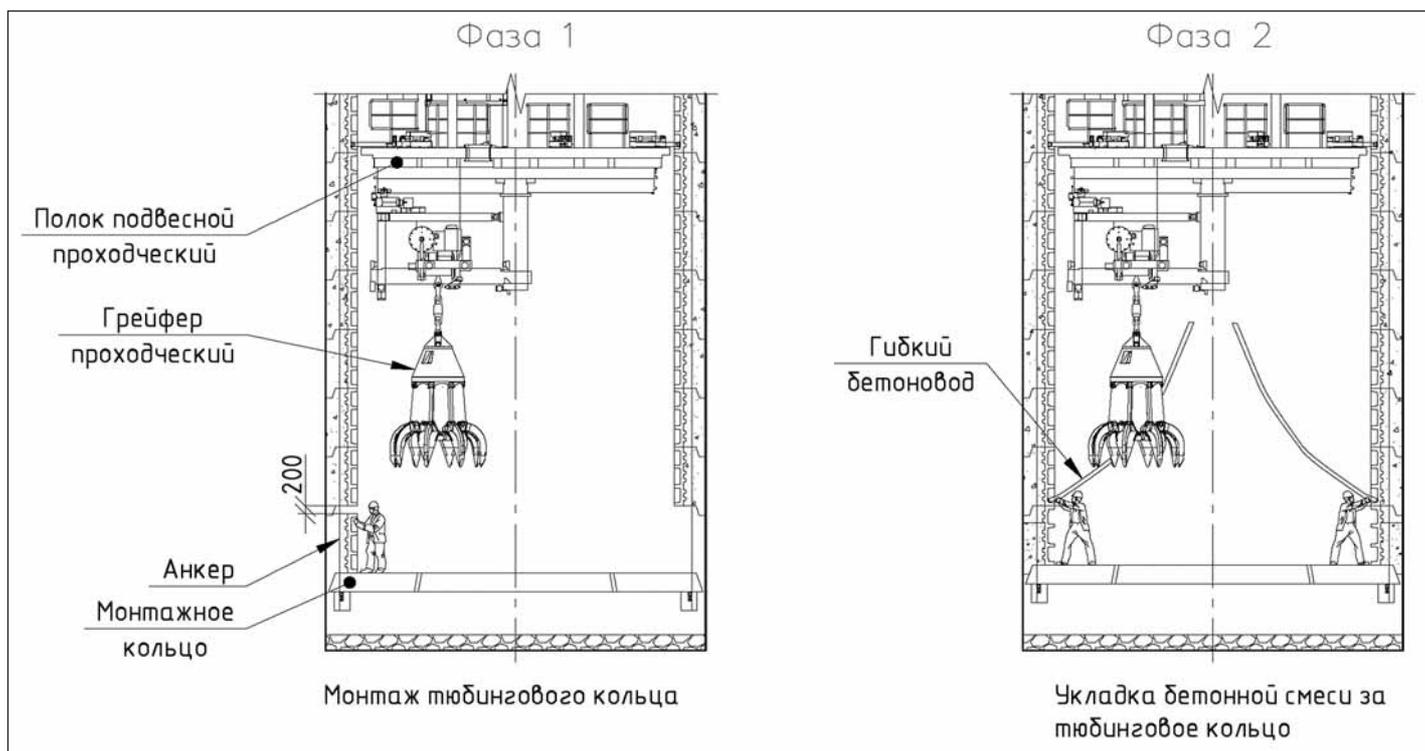


Рис. 9. Технология возведения тьюбинговой крепи с помощью монтажного кольца

ного времени года (зима, лето). В разные периоды температура в стволе [8, с. 153] колеблется в пределах от -5 до $+25$ °С. Удлинение металлического кольца высотой 1,5 м при повышении температуры на 30 °С и коэффициенте линейного расширения чугуна 0,0000107 будет равно 0,00048 м (т. е. почти 0,5 мм): на эту величину сжимается свинцовая прокладка. Зимой температура падает до 0 °С и ниже и высота кольца уменьшается на $0,0000107 \cdot 20 \cdot 1,5 = 0,32$ мм. Свинец не может приобрести прежней своей толщины и потому в стыках образуются зазоры в 0,32 мм, через которые начинается проникновение воды. Систематическая чеканка ствола спасает положение лишь на один сезон, так как через год свинец снова выжимается.

Гидроизоляция чугунной тьюбинговой крепи путем расчеканки в швах свинцовых

прокладок (свинцовой проволоки) является ответственным и самым трудозатратным периодом при проходке шахтных стволов. В примере приведены средние затраты времени на выполнение отдельных операций по установке тьюбингового кольца (в % от общего времени):

- спуск и установка сегментов – 20 %;
- выверка и центрирование – 10 %;
- сболчивание – 20 %;
- чеканка швов – 30 %;
- заполнение закрепного пространства – 20 %.

Из примера видно, что чеканка швов чугунной тьюбинговой крепи влияет на темпы проходки шахтного ствола, тем самым вызывая их удорожание. Опираясь на опытные данные, опубликованные трестом Шахтспецстрой и ВНИИгалургии, установ-

ливают, что расчеканенный [9, с. 272] тьюбинговый шов со свинцовой прокладкой выдерживает избыточное гидростатическое давление до 1 МПа. Это по нашему мнению является подтверждением, что проблема гидроизоляции тьюбинговой крепи может быть решена применением прокладок из материала, обладающего долговечностью свинцовых прокладок, но имеющего большую упругость.

Гидроизоляционный профиль

В настоящее время повсеместно в практике при механизированном способе проходке тоннелей для гидроизоляции крепи, состоящей из железобетонных блоков (рис. 5), применяют резиновые уплотнители (рис. 6). При монтаже сегментов в кольцо, резиновые уплотнители прессируются друг против друга,

Рис. 10. Моделирование деформации гидроизоляционного профиля при нагрузках и смещениях

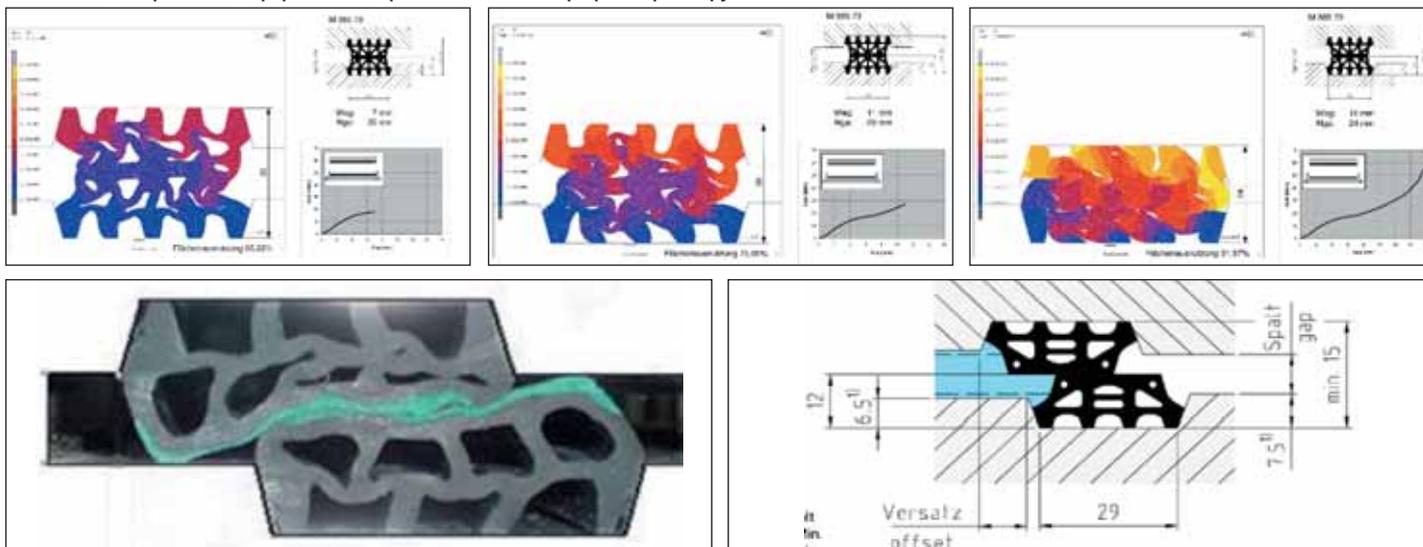




Рис. 11. Специалисты ООО «ГСК-Шахтпроект» и Datwyler в лаборатории г. Вальтерсхаузен

тем самым создавая герметизацию стыков. Особое внимание уделяется местам перекрестия швов между тремя сегментами, являющимися основным местом протечек.

Многолетний опыт в данном направлении подтверждается пройденными многокилометровыми тоннелями во многих странах мира [10, с. 47] в осложненных условиях:

- Нидерланды, подводный автодорожный тоннель Вестершельде;
- Япония, подводный тоннель под Токийским заливом;
- Германия, г. Гамбург; 4-й автодорожный тоннель под р. Эльбой;
- Российская Федерация, г. Москва, автодорожный тоннель в районе Лефортово;
- Германия, г. Мюльгейм, тоннели метро, в т. ч. под р. Рур;
- Англия-Франция, французский участок железнодорожного тоннельного перехода под проливом Ла-Манш;
- о. Тайвань, г. Тайбей, тоннели метро;
- Дания, железнодорожные тоннели под проливом Сторебелт между о. Фюн и о. Зеландия;
- Франция, г. Лион, автодорожный тоннель;
- Российская Федерация, г. Москва, перегонный тоннель Бутовской линии метро;
- Франция, г. Бордо, тоннель сточных вод;
- Швейцария, железнодорожный тоннель Граухольц;
- Германия, г. Дуйберг, железнодорожный тоннель;
- Франция, г. Париж, железнодорожный тоннель линии Эоле.

Предлагаемый способ гидроизоляции тьюбинговой крепи

Учитывая многочисленные факторы [11, с. 83] при оттаивании горных пород, влияющие на гидроизоляцию крепи и сохранность ее в целом, ООО «ГСК-Шахтпроект» разработало конструкцию узла гидроизоляции чугунной тьюбинговой крепи (патент 188956), позволяющей при проходке шахтного ствола сразу же иметь изолированную крепь от воды. ООО «ГСК-Шахтпроект» предлагает в тьюбинге выполнить две проточки (рис. 7 и 8) под наружный и внутренний желобок. На каждый тьюбинг по наружной проточке (посадочное

место) в натяг устанавливать квадратную рамку из этиленпропиленового профиля (EPDM) специальной геометрии (рис. 6). EPDM обладает высокими физмехсвойствами и долговечностью, а также не подвержен разрушению от воздействия внешней агрессивной среды. Резиновый профиль находится в упругом сжатом состоянии весь период эксплуатации, тем самым отвечает за герметизацию стыков между тьюбингами. Однако для дополнительной безопасности и «ремонтпригодности» предусмотрена на тьюбинге внутренняя проточка, позволяющая выполнить чеканочные работы только при необходимости.

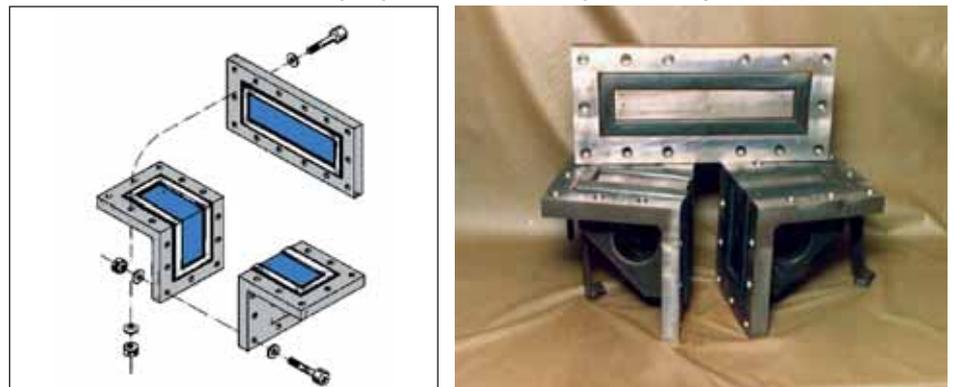
Монтаж тьюбингов в кольцо необходимо выполнять на монтажном кольце (рис. 9), тем самым повысить уровень частоты сборки и минимизировать смещение профилей.

Стоит отметить, что при данной комбинации уплотнителей чеканка свинцовой проволокой может быть произведена после проходки ствола в период армировки, либо, как говорилось выше, только при выполнении ремонтных работ.

При проходке в сложных горно-геологических условиях, где предусмотрено возведение двурядной тьюбинговой колонны, гидроизоляционный профиль будет играть огромную роль, так как на внешней колонне прокладки не устанавливаются на фланцы тьюбингов в связи с отсутствием последующей возможности выполнения чеканочных работ.

Компанией Datwyler (г. Вальтерсхаузен, Германия) для ООО «ГСК-Шахтпроект» (г. Москва, Россия) были разработаны и смоделированы гидроизоляционные профили различной геометрии, а также выполнены лабораторные исследования для подтверждения возможности применения профи-

Рис. 12. Стенд для выполнения лабораторных испытаний на герметичность уплотнителей



лей EPDM в шахтном строительстве. В моделировании рассматривался процесс деформирования двух противоположных прокладочных профилей при сжатии, тем самым имитируя монтаж двух тубингов при возведении крепи. Особое внимание было сосредоточено на возможных вариантах неплотного контакта двух профилей и смещений их относительно друг друга, которые должны выдержать гидростатическое давление и не допустить утечки воды (рис. 10).

Целью испытаний было определение максимального давления, при котором произойдет утечка воды в стыках при различных сценариях смещения профилей. При механических испытаниях целью работы было изучение воздействия сил на деформирование резиновых профилей в канавке. Исследования лабораторных испытаний проводились для изучения влияния раскрытия стыка, смещения и твердости резинового профиля.

Рис. 13. Лабораторные испытания профилей со смещением в 5 мм



Гидроизоляция швов в тубинговой крепи происходит за счет обжатия усилием болтов (М36) двух резиновых профилей величиной равной:

$$N = 2100 \cdot 8,2 = 17220 \text{ кг.}$$

Площадь всего гидроизоляционного профиля для кольца в свету 7 м и шириной борта 24 см:

$$F = \pi(r_{\text{н}}^2 - r_{\text{вн}}^2) = \pi(372^2 - 369^2) = 6984 \text{ см}^2.$$

Усилие сжатия профиля:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{17220 \cdot 6 \cdot 13}{6984} = 192,3 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} > [180] = [q]$$

Таким образом, усилия обжатия более чем достаточно для предварительного об-

жатия всего в 25 кг/см² и это усилие чуть больше рекомендуемого допускаемого [q]. Таким образом, только за счет обжатия резинового профиля можно держать не 5, а все 100 атм воды и более.

В декабре 2019 г. ООО «ГСК-Шахтпроект» совместно с Datwyler (рис. 11) провели стендовые испытания (рис. 12) гидроизоляционного профиля на давление воды в 70 атм (что соответствует давлению тампонажных работ тубинговой крепи с толщиной спинки 80 мм).

Профили были установлены со смещением в 5 мм и зазором между плит в 1 мм, а также приклеены в канавке для лучшей гидроизоляции и меньшего смещения (рис. 13).

Для испытаний лабораторный стенд подключили к гидросистеме, позволяющей последовательно повышать давление по (0,3–0,5 МПа) с выдержкой на каждой ступени. Кроме того, фиксировали температуру в помещении стенда, усилие затяжки болтов и прочее.

Проявления течи воды через швы не выявились вплоть до 65 атм (рис. 14). До критического давления (в 70 атм) испытания не проводились в связи с началом деформирования верхней плиты стенда. Данный профиль подтвердил свою работоспособность при высоком гидростатическом давлении и возможность в применении на стволах глубиной до 500 м.

В 2020 г. ООО «ГСК-Шахтпроект» совместно с Datwyler запланировали провести серию новых лабораторных испытаний, позволяющих использовать резиновые профили на шахтных стволах глубиной более 1000 м. Для этого необходимо:

- разработать геометрию резинового профиля, способного работать при давлениях воды в 120 атм;
- провести дополнительные лабораторные исследования на морозостойкость профилей и устойчивость к резким температурным перепадам;
- провести исследования на устойчивость резиновых профилей к рассолам различных химических составов;
- провести механические испытания профилей при монтаже элементов крепи.

По результатам проведенных испытаний в Германии запланирована серия испытаний в Российской Федерации в сертифицированной лаборатории по разработанной методике, близкой к реальным условиям эксплуатации шахтной крепи. Испытания будут проводиться также на герметичность профилей, но уже размещенных в посадочном месте элементов чугунной крепи.

Заключение

В заключение хотим отметить, что предлагаемая система обеспечивает:

- надежность гидроизоляции тубинговой крепи на весь период эксплуатации шахтных стволов;



Рис. 14: а – зафиксированное давление воды во время испытаний; б – демонтаж плиты после выполненных испытаний

- долговечность профилей EPDM гарантирована производителем, а также подтверждена натурными, эксплуатационными и экспериментальными исследованиями;

- повышение технологичности герметизации тубинговой крепи во время монтажа сегментов в кольцо;

- увеличение темпов проходки ствола за счет выполнения чеканочных работ после достижения проектной глубины, при необходимости в период армировки;

- уменьшение сроков эксплуатации замораживающих установок в пассивном режиме и в период искусственного оттаивания горных пород;

- экономичность по трудозатратам, а также в использовании всего комплекса проходческого оборудования при строительстве стволов;

- повышение эксплуатационной ремонтно-пригодности крепи.

Ключевые слова

Гидроизоляция крепи, чеканка, свинцовые прокладки, проходка стволов, чугунные тубинги, резиновые уплотнители, железобетонные блоки, гидроизоляционные профили, тоннели, вертикальный ствол, водоприток, авария на

шахте, затопление стволов, деформация крепи, рассолы, агрессивная среда, EPDM.

Список литературы

1. Головатый И. И., Левин Л. Ю., Паршаков О. С., Диулин Д. А. Оптимизация процессов формирования ледопородного ограждения при сооружении шахтных стволов / Горный журнал № 8. – 2018 – С. 48–53.
2. Паланкоев И. М., Мишедченко А. А. Какие тубинги нужны для глубоких шахтных стволов на калийных рудниках // Глюкауф Майнинг Репорт 55 – 2015. № 3. – С. 22–26.
3. Федюкин В. А. / Проходка стволов шахт способом замораживания. Недра – М. 1968 – С. 352.
4. Мишедченко А. А. Возвращаясь к опыту советских шахтостроителей / Маркшейдерия и недропользование № 6(92) – 2017 – С. 15–16.
5. Ольховиков Ю. П. / Крезь капитальных выработок калийных и соляных рудников. – Недра. – 1984. – С. 238.
6. Седов Б. Я., Николаенко А. Т., Бессмертный А. С., Трупак Н. Г., Каминский Д. Н., Зеленский В. М., Грамматиков А. М. / Справочник инженера-шахтостроителя. Том 2 / Недра. М. – 1972 – С. 704.

7. Корчак А. В., Мишедченко А. А., Кузина А. В. О проблемах совершенствования технологии проходки вертикальных стволов в искусственно замороженных породах / Горный информационно-аналитический бюллетень № 2 – 2010 – С. 7–13.

8. Андреичев А. Н. / Тубинговое крепление вертикальных шахт. Углетехиздат. – М. – 1950. – С. 204.

9. Калмыков Е. П. / Тампонирующее горных пород при сооружении вертикальных стволов. Недра – 1979 – С. 280.

10. Валиев А. Г., Власов С. Н., Самойлов В. П. / Современные щитовые машины с активным пригрузом забоя для проходки тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях. – М. 2003. – С. 47.

11. Галкин А. Ф., Курта И. В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород / Горный информационно-аналитический бюллетень № 2 – 2020. – С. 82–91.

Для связи с авторами

Мишедченко Анатолий Анатольевич
MishedchenkoAA@shaftproject.ru
Колонтаевский Евгений Владимирович
KolontaevskiyEV@shaftproject.ru



НОВЫЙ ПРОРЫВ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОХОДКИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

П. Г. Есауленко, ООО «Херренкнехт тоннельсервис»



Стройплощадка Нежинского рудника, 2018 г.

Ключевая потребность современных проектов по проходке глубоких стволов заключается в максимальном сокращении сроков при минимальных рисках для персонала, вкпе со строгим соблюдением рамок выделенных финансовых средств.

Наиболее оптимальным решением является минимизация времени нахождения обслуживающего персонала в зоне выемки и полное его отсутствие там при активной фазе резки. Именно таким образом гибкие, технологичные решения приобретают всё большее значение по сравнению с классическими методами проходки стволов.

Технология механизированной стволопроходческой машины SBR (Shaft Boring Roadheader) немецкой фирмы Herrenknecht AG, являющейся на сегодня лидером по производству подземной проходческой техники, берёт своё начало от соединения двух различных машин. Первое – это стволопроходческий комплекс VSM, работающий в бентонитовой суспензии, от него пришёл концепт режущего органа. И второй «донор» – это технология вакуумного шламоотсоса, нашедшая применение в широком спектре эксплуатации от подземных работ до уборки улиц.

Ключевой особенностью проходки стволов, по сравнению с горизонтальными тоннелями, является технология выдачи вынимаемой породы. Возможность выдать «на-гора» грунт представлена только в виде бадьевого подъёма. Но для организации процесса



Забой на SBR MI-029 при проходке по замороженным глинам



Технология VSM

резки на непрерывной основе всегда необходима какая-либо ёмкость. Этот вопрос был решён с блеском путём установки револьвера для породных бадей. Пока одна бадя состыкована с системой транспортировки грунта на машине (соединение обязательно герметично, чтобы избежать паразитного подсоса воздуха и ослабление силы всасывания на рабочем органе), другая, полная, выдаётся подъёмной машиной «на-гора». После разгрузки бадя опускается обратно в посадочное место на револьвере, и происходит его поворот на 180 градусов. После этого опять пустая бадя находится под загрузкой, подключенной к системе транспорта грунта, а вторая, полная, выдаётся «на-гора».

Режущий барабан рабочего органа разрушает массив забоя, нарезая его в виде кусков пиццы, и одновременно от барабана вся порода всасывается тремя вакуумными компрессорами, объединёнными в одну систему, каждый мощностью по 315 кВт. По трубе поток материала поднимается на высоту 20 м и в циклоне пересыпается в бадю объёмом 7 м³. Для максимального продления срока службы вакуумных компрессоров сразу после циклона установлен воздушный фильтр с системой автоматической самоочистки, причём таким образом, что пыль с фильтров стряхивается напрямую в циклон и бадю.

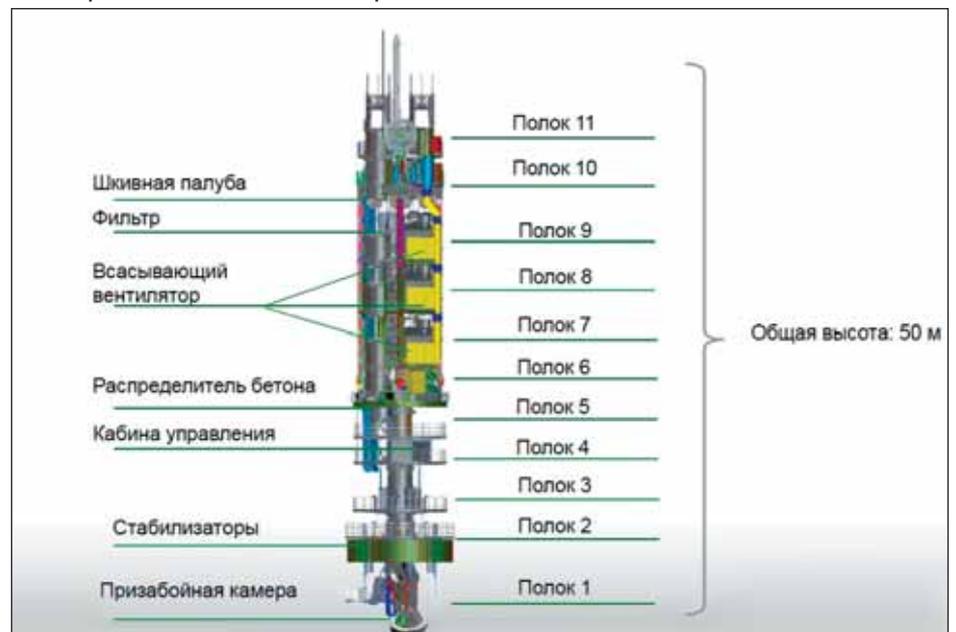
Для постоянного поддержания вертикальности ствола, положение машины постоянно отслеживается с помощью трёх лазерных мишеней, в которые бьют лазерные отвесы. Это позволяет позиционировать верхнюю часть жёсткой рамы машины. Для придачи вертикальности всему комплексу положение корректируется далее с помощью электронного инклинометра. Машина стабилизируется в стволе с помощью двух уровней распоров.

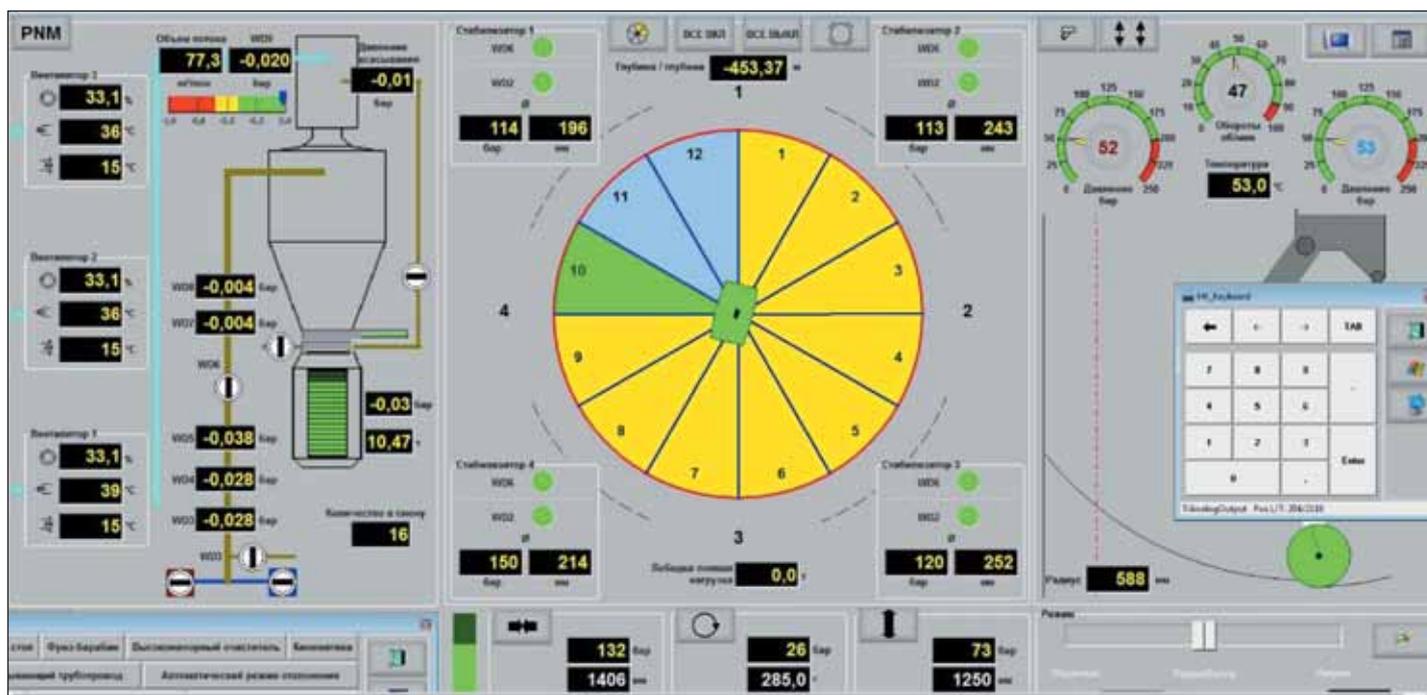
Первый, основной, расположен на втором полке, а второй уровень – на верхнем краю жёсткой рамы машины, т. е. на шестом полке. Для дополнительной, независимой, проверки вертикальности ствола, заказчик также принял решение использовать три механических отвеса, опускаемых с нулевой отметки.

Также стоит отметить, что машина представляет собой 11 рабочих полков. Первый, нижний, расположен на вращающейся стреле рабочего органа. Со второго по шестой включительно – это жёсткая рама машины, состыкованная с помощью больших высокопрочных шпилек. Там располагается различное технологическое оборудование, например кабина управления на 4-м полке, гидрав-

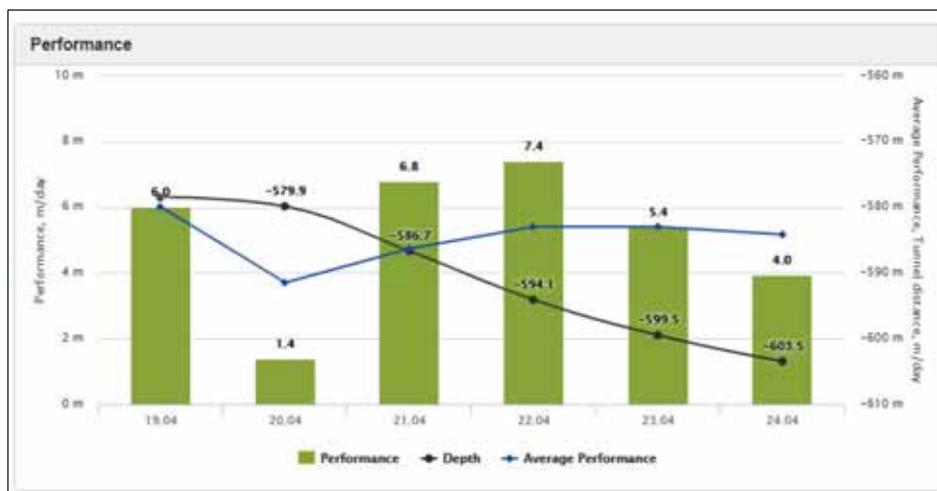
лическая станция на 6-м, а 3-й полк является вообще подвижным в вертикальном направлении, для облегчения работы с крепью ствола. С седьмого по одиннадцатый – это подвижные полки с технологическим оборудованием, в том числе с циклоном, трансформатором, вакуумными компрессорами и так далее. Важной особенностью данной комплектации машины является то, что она подвешена через полиспаст на четыре лебёдки с поверхности только за 10-й полк. Далее от десятого полка к шестому (к началу жёсткой рамы машины) идут по краям четыре мощных каната диаметром 85 мм, которые предварительно натягиваются и выравниваются с помощью циклопических резь-

Стволопроходческий комплекс SBR. Второе поколение





Пульт управления оператора SBR



Суточная производительность

бовых шпилек на концах с резьбой M172×4. Таким изящным решением получилось избежать разрезки всей машины основными канатами с поверхности и получить достаточно места для расположения технологического оборудования.

Для минимизации влияния человеческого фактора при движении бадей, система управления лебёдок плотно завязана с SBR. Направляющими для прохода бадей являются канаты подвеса самой машины, система постоянно отслеживает положение SBR в стволе и соответственно корректирует скорость бадей на подъёмах. Также система отслеживает положение каждого полка и безошибочно позиционирует бады. Всего в стволе организовано два подъёма – породный, с бадами по 7 м³ и клетевой – вспомогательный. По последнему осуществляется подъём/спуск людей и груза, а также спуск бетона в специальных бадах при бетонировании.

Распределение бетона по кольцевой опалубке крепи осуществляется с помощью бе-

тонораздатчика, установленного на 5-м полке. Он закреплён на центральной трубе рамы машины и таким образом имеет возможность вращаться на 360 градусов, равномерно распределяя бетонную смесь по загрузочным карманам опалубки. Для загрузки бетонораздатчик просто поворачивается к месту прохода клетьевого подъёма, где и опускается бадя с бетоном.

Для обеспечения наивысшего класса безопасности проходки, она осуществляется без присутствия персонала в забое. Всё управление процессом осуществляется с 4-го полка из кабины управления и отдельного пульта револьвера бадей на 7-м полке. Сам процесс резки представляется последовательным процессом нарезки слоёв забоя по 150–200 мм. Это можно представить в виде кусков пиццы. Конструкция стрелы позволяет автоматизировано удлинять её, таким образом процесс резки происходит на глубину 1200 мм без передвижки машины. После резки 1,2 м телескоп стрелы втягивается,

распоры убираются и машину опускают на 1,2 м с последующим центрированием её относительно проектной оси. После этого процесс идёт заново.

К сожалению, у данной машины есть и ахиллесова пята – обводнённые грунты, в частности глины и мел, что встречается обычно у поверхности в самом начале ствола, они просто заклеивают систему пневмотранспорта. Но с этим довольно легко справиться методом классической заморозки периметра и созданием ледопородного ограждения. Далее по сухим породам, в том числе и бетону, стволопроходческий комплекс идёт без проблем.

Подобные комплексы сейчас используют на Нежинском Калийном месторождении (Республика Беларусь). На май 2020 г. оба комплекса дошли до отметки первого сопряжения (глубина около 650 м) и остановлены на период их строительства. Показатель максимальной суточной производительности, включая возведение постоянной бетонной крепи, составил 7,4 м (зафиксировано в апреле). Стоит отметить, что это не однодневный рекорд ради рекорда, после которого приходится разбирать завалы и стоять неделями. Средняя скорость проходки всё также поддерживалась на недоступной для классических методов высоте.

Мы отчётливо понимаем, что находимся на пороге новой технологии, и это только начало получаемого опыта и радикального пересмотра подхода к проходке стволов. Это позволяет смотреть с большим оптимизмом на новую технологию, помогающую сохранить жизнь и здоровье персоналу при значительном увеличении темпов проходки.

Для связи с автором

Есауленко Павел Георгиевич
esaulenko.pavel@herrenknecht.de

