

## ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

**В. В. Чеканов**, Тоннельная ассоциация Беларуси

**А. Г. Полянкин**, АО «Мосинжпроект»

**Л. И. Горх**, Тоннельная ассоциация России

**27 и 28 сентября 2018 года в г. Минске (Республика Беларусь) прошел научно-технический форум «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного строительства». Организаторы форума: ОАО «Минскметрострой», УП «Минскметрострой», Тоннельная ассоциация Беларуси и Тоннельная ассоциация России.**

Форум является весьма важным международным мероприятием. Для участия в нём в город Минск прибыли эксперты и специалисты крупных проектных, строительных компаний, генподрядчики и субподрядчики по строительству различных объектов, научные институты, а также белорусские, российские и иностранные компании-производители специализированного оборудования и техники.

С приветственным словом к участникам форума от имени организаторов обратились председатель правления Тоннельной ассоциации Беларуси В. В. Чеканов и председатель правления Тоннельной ассоциации России К. Н. Матвеев.



В Республике Беларусь активно ведется подземное строительство по самым разнообразным направлениям:

- в городе Минске с 1977 г. и по настоящее время ведется строительство метрополитена. Эксплуатируется две линии протяженностью 38,5 км с 29 станциями. Строится третья линия;
- ОАО «Трест № 15 «Спецстрой» имеет современные тоннелепроходческие комплексы диаметром 3, 2 и 1 м производства «Херренкнехт» для строительства тоннелей, в которых прокладываются инженерные коммуникации;
- в г. Минске на площади Независимости построен подземный общественно-торговый центр «Столица» (площадь около 100 тыс. м<sup>2</sup>) с паркингом на 500 машиномест;
- производятся установки горизонтального направленного бурения, которые используются строителями для подземной прокладки инженерных коммуникаций без вскрытия дневной поверхности, в т. ч. Под автодорогами;
- в г. Солигорске ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством» освоило выпуск эскалаторов. Они устанавливаются на трех строящихся станциях 1-го участка 3-й линии Минского метрополитена;
- в г. Могилеве на заводе «Могилевлифтмаш» изготовили пассажирские горизонтальные конвейеры-траволаторы, которые используются в пешеходных пересадочных тоннелях 1-го участка 3-й линии Минского метрополитена;

- подземные пешеходные переходы с развитым подземным пространством практически во всех городах Республики Беларусь.

В настоящее время разрабатывается нормативный документ ТКП «Градостроительство. Правила застройки и планировки г. Минска», в котором закладываются требования по максимальному освоению и использованию подземного пространства.

Далее дадим обзор докладов и сообщений, которые были представлены на форуме.

С докладом на тему «Минский метрополитен: вчера, сегодня, завтра» выступил председатель правления Тоннельной ассоциации Беларуси **В. В. Чеканов** (см. «Метро и тоннели» № 3, 2018, с. 12–16).

С докладом «Минскметрострою – 40 лет» выступила заместитель генерального директора УП «Минскметрострой» **А. А. Алексейчик**. В докладе отмечены основные этапы создания и становления Управления строительства «Минскметрострой». Приведена структура организации, перечень построенных объектов и их характеристики.

Так, объем СМР, выполненный в 2017 г. собственными силами, составил 51,8 млн \$, при этом доля СМР по метростроению, выполняемая собственными силами, составила 91 %. Среднесписочная численность работников – 1992 человека, из них ИТР – 412 чел. (21 %).

Сегодня УП «Минскметрострой» владеет современными технологиями строительства:

- проходка перегонных тоннелей ТПМК;
- анкерное крепление котлованов;
- сооружение траншейных стен методом «стена в грунте»;
- бесшпальная укладка пути метрополитена с использованием виброзащитных железобетонных блоков БВ2\_М;
- бестраншейная прокладка подземных коммуникаций с использованием установок горизонтального направленного бурения.

Для выполнения перечисленных работ имеется в собственности современное оборудование. С 2007 г. внедрена и функционирует система менеджмента качества.

Главный инженер проектов ОАО «Минскметропроект» **П. Н. Непочелович** сделал доклад на тему «Проектирование и строительство 1-го участка 3-й линии Минского метрополитена». Третья линия Минского метрополитена проходит с севера на юг через центр города. Протяженность линии 17,7 км с 14 станциями. Она пересекает первую и вторую линии, образуя тем самым пересадочный треугольник: станции «Площадь Ленина» – «Вокзальная» и станции «Фрунзенская» – «Юбилейная». Это позволит пассажиру проехать в любой район города всего с одной пересадкой. В настоящее время строится 1-й участок третьей линии протяженностью 8,54 км с семью станциями.

Одновременно с линией метро строятся:

- электродепо «Слуцкое»;
- здание эксплуатационного персонала;
- здание инженерного корпуса метрополитена (2\_я очередь);
- Линия разбита на два пусковых комплекса:
- первый – от станции «Жуковского» до станции «Юбилейная», протяженностью 4,44 км с четырьмя станциями. Сдача в эксплуатацию намечена на 2020 г.;
- второй – от станции «Корженевского» до станции «Жуковского» протяженностью 4,10 км с тремя станциями. Сдача в эксплуатацию – 2022 г.

В докладе приведены объемно-планировочные решения станционных комплексов, описано прохождение трассы, условия строительства.

Отличия от ранее построенных линий метрополитена в г. Минске:

- перегонные тоннели сооружаются механизированным тоннелепроходческим комплексом (ТПМК), изготовленным фирмой «BESSAC» (Франция);
- для крепления котлованов используется метод «стена в грунте», который выполняется оборудованием фирмы «Штайн», смонтированным на кране-экскаваторе Liebherr;

- для крепления стен котлованов применены прядевые анкеры с несущей способностью до 140 т;
- для гидроизоляции станционного комплекса применена ремонтпригодная гидроизоляционная система с использованием полимерных мембран (ПВХ\_пленок);
- в пересадочных пешеходных тоннелях предусмотрены горизонтальные пешеходные конвейеры;
- на платформенных участках станций устанавливаются барьерные ограждения высотой 1,6 м с дверями, предотвращающие падение пассажиров на путь;
- применен бесшпальный путь на железобетонных блоках с системой виброизоляции;
- служебные и технические помещения на станциях отапливаются избыточным теплом от поездов, пассажиров и работающего оборудования. Для этого используются тепловые насосы воздух-вода, а также теплообменники на оребренных тепловых трубах в составе установок утилизации тепла;
- автоматизированная система управления движением поездов как комплексная микропроцессорная система с организацией централизованного автоведения поездов и использованием современного оборудования микропроцессорной централизации стрелок и сигналов.

С докладом на тему «Второй участок третьей линии Минского метрополитена» выступил главный инженер проектов ОАО «Минскметропроект» **И. О. Панкевич**. Второй участок третьей линии метрополитена является продолжением строящегося первого участка третьей линии и пройдет от станции «Юбилейная» в северную часть города. Его протяженность 8,44 км с семью станциями. Ориентировочное начало работ – 2022 г., продолжительность строительства 96 месяцев. В настоящее время разработана стадия «Обоснование инвестирования». Предусмотрено разделение 2-го участка на две очереди строительства:

- первая – от станции «Юбилейная» до станции «Парк Дружбы Народов», протяженностью 4,24 км с четырьмя станциями;
- вторая – от станции «Парк Дружбы Народов» до станции «Логойская», протяженностью 4,2 км с тремя станциями.

В докладе приведены характеристики участка метрополитена, объемно-планировочные и конструктивные решения станционных комплексов, организация строительства, а также применяемые способы и технологии строительства и используемая для этого строительная техника и оборудование.

Генеральный директор ООО «Херренкнехт Тоннельсервис» **Хеннинг Йоханнис** сделал сообщение на тему «Grand Paris express – Строительство новой кольцевой линии метро в Париже». Работа над проектом «Grand Paris express» была начата в 2007 г. Цель – улучшение системы общественного транспорта Парижа. Общая длина строящихся линий составляет 205 км, из них 90 % – подземные. Новые линии свяжут пригороды Парижа с центром и аэропортами Бурже, Орли и Шарль де Голь. Проект будет включать 72 станции, из них 57 – новые, и позволит уменьшить количество автомобилей на улицах города на 150 тыс. единиц. Проектная стоимость строительства – 38 500 000 тыс. (на февраль 2018 г.). Работы ведутся на шести участках метрополитена, проходку тоннелей осуществляют 23 ТВМ. Ими пройдено 81,9 км тоннелей. Для проходки применяются ТПМК с системой переменной плотности.

Характеристики ТПМК:

- диаметр ротора – 9,87 м;
- рабочее давление – 5 бар;
- длина щита – 14 м;
- длина ТПМК – 120 м;
- минимальный радиус – 220 м;
- мощность привода – 3500 кВт;

- вес ТПМК – 1600 т.

ТПМК с системой переменной плотности позволяют вести проходку с режимами:

- гидропригруза с тонкой суспензией;
- гидропригруза с густой суспензией;
- грунтопригруза с гидротранспортом;
- грунтопригруза с конвейерной откаткой.

В процессе проходки конструкция ТПМК позволяет произвести переналадку с одного режима работы на другой.

Советник заместителя генерального директора по строительству объектов метрополитена АО «Мосинжпроект» к. т. н. **Д. С. Колюхов** сделал доклад на тему: «Научное обоснование мероприятий по обеспечению сохранности окружающей застройки при строительстве метрополитена в Москве». В докладе была представлена концепция проведения работ по научно-техническому сопровождению строительства, как на стадии проектно-исследовательских работ, так и на стадии строительства. В докладе подробно описан опыт проходки тоннелей строящейся Кожуховской линии Московского метрополитена под действующей Таганско-Краснопресненской линией. В результате реализации мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства была обеспечена безопасная проходка тоннелей Кожуховской линии на глубине около 3 м под тоннелями Таганско-Краснопресненской линии с минимальными осадками. Так, максимальные стабилизированные осадки тоннелей ТКЛ составили: для правого тоннеля 4,6 мм, для левого – 2,9 мм.

Главный инженер проектов ОАО «Минскметропроект» **Э. И. Клок** выступил с докладом «Электродепо «Слуцкое» Минского метрополитена». В Минске сегодня действует два электродепо метрополитена – «Московское» (введено в эксплуатацию в 1984 г.) и «Могилевское» (2003 г.). Электродепо «Слуцкое» – это третье электродепо. При его проектировании специалисты ОАО «Минскметропроект» учли 30-летний опыт эксплуатации Минского метрополитена, а также современные тенденции развития отечественных метрополитенов. В докладе приведены основные технико-экономические показатели объекта, технологические решения по обслуживанию и ремонту вагонов метрополитена, принципы зонирования генплана электродепо; конструктивные решения корпусов и сооружений, а также проектные решения по сантехническим, электротехническим разделам, устройствам связи и автоматизации технологических процессов. Особенностью электродепо «Слуцкое», которое отличает его от двух предыдущих электродепо, является то, что в нем будут обслуживаться вагоны, оборудованные тяговыми приводами на переменном токе (вагоны типа 81\_760/761). Благодаря прогрессивным конструктивным решениям вагонов, выполненным заводом-изготовителем, уменьшилось количество узлов, требующих снятия с вагонов для ремонта. Также заводом-изготовителем увеличены межремонтные пробеги между видами технического обслуживания и ремонтов. Это позволило уменьшить количество рабочих, занятых на обслуживании и ремонте вагонов, а также площади производственных мастерских. Так отпала необходимость:

- в аккумуляторном отделении – аккумуляторные батареи не требуют обслуживания;
- в электроаппаратном отделении с кранбалкой – при деповских видах ремонтов электрические аппараты проверяются без снятия с вагонов;
- в отделении тиристорных блоков – все проверки в объеме деповских ремонтов выполняются на вагонах без снятия.

В целом количество ремонтов уменьшилось на 30 % по сравнению с существующими электродепо. Кроме того, для электродепо «Слуцкое»:

- будет изготовлен модернизированный станок для обточки колесных пар. Он позволит выполнять обточку колесных пар как с выкаткой из под вагонов, так и без выкатки;
- на позициях ремонта для подъема вагонов будут использоваться мобильные электродомкраты грузоподъемностью 10 т (вместо 40 т, установленных на действующих электродепо). Промышленность освоила выпуск таких домкратов;



- мостовой кран, установленный в ремонтном пролете, будет иметь радиоуправление с переносного пульта. Это позволит отказаться от кабины крановщика.

Комплекс принятых прогрессивных решений обеспечил значительное снижение стоимости строительства электродепо.

Начальник отдела ПТ ОАО «Минскметропроект» **С. С. Позняков** выступил с докладом «Опыт ОАО «Минскметропроект» по проектированию автодорожных и железнодорожных тоннелей». В докладе освещен двадцатилетний опыт проектирования автодорожных тоннелей на Кавказе в сложных инженерно-геологических условиях. При проектировании и строительстве тоннелей применены оригинальные инженерные решения с применением современных материалов, технологий и оборудования. Вот некоторые из них:

Проект инженерной защиты от камнепадов на участке 22–24 километры автодороги Адлер – Красная Поляна был реализован без перерыва движения. Отмечается технической сложностью и новизной принятых конструктивных и организационно-технологических решений.

При строительстве тоннеля № 6 длиной 2660 м на обходе г. Сочи (2\_я очередь строительства) для проходки калотты и нижнего уступа применен высокопроизводительный проходческий комбайн избирательного действия WIRTH. Применение технологии NATM позволило повысить скорость проходки верхнего уступа тоннеля до 150 м в месяц, против 30–60 м при проходке традиционным способом. При этом трасса тоннеля пересекает зоны технических разломов с нарушенной структурой грунтов, а также зоны с водопритоками до 18 м<sup>3</sup>/ч к забою тоннеля.

К зимней Олимпиаде 2014 г. в г. Сочи была построена новая автомобильная дорога. ОАО «Минскметропроект» разработало проектную документацию на строительство двух автодорожных тоннелей – № 1 и 3. Сейсмичность района строительства – 9 баллов. Припортальные выемки устраивались на ограниченных участках, что потребовало значительного объема крепления откосов набрызг-бетоном и анкерами, а для предотвращения обрушения склонов, опасных в оползневом отношении, предусмотрели подпорные сооружения на буронабивных сваях с устройством надпортального водоотвода. Значительная часть тоннелей проходила в породах сильнотрещиноватых до раздробленных. В этих зонах проходка тоннеля проводилась с устройством опережающего экрана из труб и цементацией зон разломов. Разработка грунта в забое выполнялась проходческими комбайнами, а на участках с высокой крепостью применялся буровзрывной способ.

На автомобильной дороге Алагир – Нижний Зарамаг построены:

- тоннель км 93+300;
- тоннель км 86+300 с противолавинной галереей;
- тоннель км 91+00;
- противолавинные галереи на км 76+825 и км 85+650.

Строительство объектов в районе с сейсмичностью 9 баллов осложнено обвальными процессами на припортальных участках, а также сходом снежных лавин. По трассе тоннелей – зоны тектонических разломов с обильным водопритоком в забой. При проходке применялись специальные методы работы: цементация трещиноватых грунтов; устройство защитного экрана из труб. Разработка грунта проходческими комбайнами с немедленным возведением временной обделки – набрызг\_бетоном по сетке с железобетонными анкерами. Для защиты от камнепадов на горных склонах устанавливались защитные сетки.

В 2007 г. в ОАО «Минскметропроект» разработана документация по объекту «Реконструкция автодороги Георгиевск – Новопавловск от автодороги Кочубей – Зеленокумск – Минеральные воды. Два тоннеля под главными путями СКЖД на перегоне Виноградная – Георгиевск». Главной особенностью данных тоннелей является сооружение закрытого перехода длиной 35 м под защитой экрана из труб без перерыва движения поездов. Применен способ микротоннелирования ТМПК для прокладки экрана из труб, причем верхний ряд экрана размещен на минимальном расстоянии до балластной призмы. Впервые вскрытие забоя под действующими железнодорожными путями производилось на полное сечение тоннеля с креплением лба забоя фиброглассовыми анкерами. На период сооружения тоннелей в целях

увеличения безопасности выполнено усиление железнодорожного пути страховочными пакетами.

Значимым для ОАО «Минскметропроект» явился проект «Тоннельный переход между Северным и Южным терминальными комплексами в аэропорту Шереметьево», который был реализован к чемпионату мира по футболу 2018 г. в России.

В состав объекта вошли:

- Северный станционный комплекс, расположенный под проектируемым терминалом В на северном терминальном комплексе аэропорта;
- Южный станционный комплекс, интегрированный переходной галереей с терминалами Д и Е на Южном терминальном комплексе;
- тоннельный участок, сооружаемый закрытым способом под действующим аэродромом: два тоннеля щитовой проходки по 1940 м каждый, три технологические сбойки, перегонная водоотливная установка.

Уникальность, сложность, а также отнесение объекта к особо опасным потребовала разработки и утверждения в установленном порядке Специальных технических условий на проектирование, строительство и эксплуатацию объекта, а также Специальных технических условий на проектирование и строительство в части обеспечения пожарной безопасности объекта.

С докладом «Проектирование объектов Минского метрополитена с применением BIM\_технологии» выступила начальник группы информационного моделирования ОАО «Минскметропроект» **В. И. Штанюк**. В соответствии с приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27 октября 2014 г. № 298 «О применении BIM\_технологии в проектировании» ОАО «Минскметропроект» с 2015 г. ведет деятельность по внедрению информационного моделирования и выполнения проектов объектов Минского метрополитена с применением BIM\_технологий. С декабря 2014 г. ОАО «Минскметропроект» начало осваивать и внедрять программный комплекс Autodesk Revit для проектирования объектов метрополитена. Была создана группа из специалистов предприятия, которые прошли базовый курс обучения данному программному продукту, после чего последовало выполнение пилотного проекта. Для пилотного проекта была выбрана запроектированная ранее венткамера на третьей линии Минского метрополитена. Перед участниками проекта стояла задача разработки проектной документации в объеме всех разделов, определение области применимости программы Revit для подземного строительства, проработки шаблонов оформления проектной документации, адаптация спецификаций для их оформления в Revit. В ходе работы над пилотным проектом были отработаны разделы: архитектура, конструктивные решения, отопление и вентиляция, электроснабжение, организация строительства. следующим этапом внедрения технологии BIM стало проектирование станции «Люшицкая». Станция «Люшицкая» была запроектирована с учетом принятой генеральной схемы Минского метрополитена. Располагается на третьей линии Минского метрополитена и относится ко 2\_му пусковому комплексу. Многоуровневый объем станции состоит из вестибюля с эскалаторными спусками и лифтом, платформенного участка, совмещенной тягово-понижительной подстанции (СТП), венткамеры тоннельной вентиляции с вентканалом и венткиоском, входных групп. В ходе работы над проектом были разработаны модели с выпуском рабочей документации по следующим разделам: архитектурные и объемно-планировочные решения, конструктивная модель, отопление, вентиляция, кондиционирование, водоснабжение и канализация, электрический раздел, организация строительства (крепление котлована), расстановка технологического оборудования. В течение года работы над проектом станционного комплекса с применением BIM-технологии регулярно проводились координационные совещания, на которых отслеживалась «степень зрелости» модели, потребность в информационных компонентах (семействах) и степень их готовности, процент готовности рабочей документации, разрабатываемой на основе информационной модели. Работа велась по обычному технологическому графику взаимодействия для проектирования станции метрополитена. Особенностью проекта стало построение модели

станционного комплекса с учетом уклона конструкций, что является нормативом при проектировании метрополитенов, и вызвало осложнения в использовании базовых инструментов Revit. На основании информационной модели сформировано 465 чертежей в пересчете на формат A1. Разработано 303 семейства разного уровня сложности и степени детализации. Создание информационных моделей объектов метрополитена несет в себе помимо физических размеров будущего сооружения также информационную модель систем инженерного обеспечения, в которую заложено множество атрибутов, отражающих физические характеристики (массу, теплопроводность и пр.), информацию о производителе, поставщике, стоимости, сроках поставки и пр. Это поможет оптимизировать процесс строительства, получить очень точные расчеты стоимости объекта, снизить конечные издержки при проектировании, строительстве и эксплуатации. Применяя принципы BIM в проектировании объектов Минского метрополитена, на проектировщиков ложится большая, чем раньше, нагрузка. Уровень проработки и качество проектов оказываются на порядок выше, что должно дать экономию на стройплощадке. Информационная модель объектов метрополитена, переданная заказчику, сможет служить основой для использования фактической информации об объектах и их частях, что, в свою очередь, должно привести к эффективной эксплуатации, повышению безопасности для конечных пользователей.

Заместитель генерального директора по науке, к. т. н., доцент ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» **В. Е. Русанов** сделал доклад по теме «Основные принципы проектирования фибробетонных обделок на основе стандарта СТО НОСТРОЙ 2.27.125\_2013». В докладе приведен обзор отечественного и зарубежного опыта применения фибробетонов в обделках транспортных тоннелей, а также нормативной базы проектирования и испытания фибробетонных конструкций. Рассмотрены основные проектные положения СТО НОСТРОЙ 2.27.125\_2013 в сравнении с другими отечественными стандартами на проектирование конструкций из фибробетона. Описаны принципы моделирования фибробетонных конструкций, алгоритм выполнения расчетов по прочности и трещиностойкости. Приведен сравнительный анализ расчета по СТО и по другим стандартам с наглядным отображением разницы в результатах расчета. Проведен сравнительный анализ существующих решений железобетонных конструкций и альтернативных фибробетонных конструкций. При этом указаны примеры конструктивных решений армирования обделок тоннелей из отечественного и зарубежного опыта для разных видов конструкций (горный способ, щитовой способ, сборные и монолитные обделки, набрызг-бетонные крепи). Выполнено сравнение по материалоемкости, предполагаемые трудозатраты на изготовление конструкций по упрощенной оценке.

С сообщением на тему «Использование метода «стена в грунте» при строительстве Минского метрополитена» выступил ведущий инженер отдела ПОМ ОАО «Минскметропроект» **А. Д. Долбунов**. Метод «стена в грунте» широко использовался при строительстве Минского метрополитена. Причем минские метростроители были «пионерами» внедрения этого метода в метростроении. Первое опытное строительство с применением метода «стена в грунте» в городе Минске осуществлено в 1979 г. при возведении торцевой стенки ограждения котлована станции «Московская». Затем с использованием этого метода был настроен платформенный участок станции «Площадь Ленина» (1981 г.). При этом «стена в грунте» была двойного назначения: на период строительства – это ограждение котлована; на период эксплуатации – несущая стена постоянной обделки станции. Следующий шаг – строительство станции «Восток». Этим методом была построена вся станция и оборотный тупик за ней. В дальнейшем при прокладке второй линии такой метод использовался при строительстве 8 станций из 14. При этом конструкции стен, возводимых методом «стена в грунте», и технология их возведения постоянно совершенствовались:

- монолитные траншейные стены с неизвлекаемыми ограничителями секций в виде металлических диафрагм;
- монолитные траншейные стены с извлекаемым трубчатым ограничителем секций;

- монолитные траншейные стены с направляющими сборными железобетонными разделительными элементами, закрепленными в буровых лидерных скважинах;
- монолитные траншейные стены со сборными железобетонными разделительными
- элементами.

Усовершенствования были направлены на снижение металлоемкости «стена в грунте». В итоге при строительстве станции «Пушкинская» расход металла на 1 м<sup>2</sup> стены толщиной 0,6 м составил 90 кг. В конце 90-х гг. метод «стена в грунте» был утерян для минского метростроения. Строительство 1-го участка третьей линии Минского метрополитена ведется с использованием метода «стена в грунте». Он применяется при строительстве станций «Жуковского» и «Юбилейная». Для этого УП «Минскметрострой» приобрел комплекс оборудования: на гусеничном канатном кран-экскаваторе Liebherr HS 8100 HD грузоподъемностью 100 т смонтирован грейферный ковш фирмы «Шайн»; набор штайн-разделительных элементов; штайн-гидравлический кондуктор для их извлечения; установки для приготовления и регенерации глинистого раствора. На ст. «Юбилейная» толщина «стена в грунте» – 800 мм, глубина траншеи – переменная от 30 до 36 м.

С сообщением «Методика определения графоаналитическим способом просадок грунта при щитовой проходке тоннелей» выступил начальник группы отдела ПОМ ОАО «Минск-метропроект» **Е. М. Науменко**. Рассмотрены риски, из-за которых могут образовываться возможные просадки грунта при проходке тоннелей тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК). Приведена методика определения возможных просадок грунта на примере характеристик ТПМК фирмы «BESSAC», осуществляющего проходку перегонных тоннелей 1-го участка третьей линии Минского метрополитена. Фактические просадки поверхности грунта, полученные при проходке правого тоннеля от ст. «Вокзальная» до ст. «Юбилейная», фактически совпали с расчетными по данной методике. Имея расчетные величины просадок грунта, можно делать выводы о необходимости разработки мероприятий по сохранению зданий и сооружений, расположенных по трассе тоннелей метрополитена.

С сообщением на тему «Мероприятия по защите действующего метрополитена при строительстве объекта «Транспортная развязка на пересечении пр. Независимости с ул. Филимонова» выступил начальник группы отдела ПТ ОАО «Минск-метропроект» **А. Л. Василевский**. В г. Минске на пересечении проспекта Независимости с улицей Филимонова была запроектирована транспортная развязка в двух уровнях. Схема транспортной развязки комбинированная – «ромб» с элементами клеверного листа. Проспект Независимости проходит в верхнем уровне с устройством двухпролетного путепровода, ул. Филимонова – в нижнем уровне. При этом путепровод располагается над эксплуатируемыми тоннелями и вентсбойкой метрополитена. Для строительства путепровода требуется срезка грунта на участке около 50 м на глубину до 7–8 м и подсыпка на высоту до 2 м участка длиной около 250 м. Общий участок изменения вертикальной планировки вдоль пр. Независимости составляет 300 м. В результате срезки грунта и разгрузки нижележащего грунтового массива, в соответствии с выполненными расчетами, на участке сооружения транспортной развязки возникают деформации с последующим поднятием тоннелей метрополитена, деформацией обделки и изменением уровня головки рельс. В результате засыпки грунта (до 2 м) также возникают дополнительные деформации в обделке тоннелей и вентсбойке. Для оценки влияния на грунтовый массив и обделку существующих тоннелей были выполнены расчеты с использованием программного комплекса Midas GTS MX. Для обеспечения безопасной эксплуатации метрополитена разработан комплекс мероприятий по защите тоннелей. В течение всего периода строительства (выполнения мероприятий по защите тоннелей метрополитена и сооружения конструкций путепровода) за тоннелями метрополитена выполнялся мониторинг согласно программе, разработанной Белорусским национальным техническим университетом – велось постоянное наблюдение за напряженно-деформационным состоянием несущих конструкций тоннелей метрополитена. Анализ напряженнодеформацион-



ного состояния обделки тоннеля осуществлялся в режиме реального времени с учетом выполняемых строительных работ. За весь период наблюдений деформации не превысили расчетных показателей.

С сообщением на тему: «О строительстве станционного комплекса В05 Фиолетовой (четвертой) линии Бакинского метрополитена полузакрытым способом под защитой экрана из труб, выполненных методом микротоннелирования» выступил инженер отдела ПОМ ОАО «Минскметропроект» **Р. Л. Гучёк**. Сделав обзор зарубежного опыта о строительстве объектов полузакрытым способом, докладчик рассказал об особенностях проектного предложения, разработанного специалистами ОАО «Минскметропроект» для строительства станции В05 (условное название) четвертой линии Бакинского метрополитена, расположенной в центре города со сложившейся застройкой. Станция строится под защитой предварительно сооруженного экрана из труб, заполненных монолитным железобетоном. Трубы прокладываются методом микротоннелирования. Подобный способ позволяет:

- сохранить существующие наземные и подземные сооружения;
- выполнить работы по строительству станционного комплекса без значительного нарушения функционирования городского хозяйства.

С сообщением «Создание гостеприимного пространства городской среды» выступил генеральный директор компании «Баутрейд» **Н. И. Сенюк**. В докладе приведены характеристики металлокерамических панелей «Хардволл», области их применения, преимущества и достоинства по сравнению с другими отделочными материалами. Представлены конкретные объекты, где для создания архитектурного облика применены панели «Хардволл».

Представитель ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» **Р. И. Ларионов**, заведующий лабораторией, сделал сообщение на тему «О тоннеле на о. Сахалин». В 2000 г. по заказу «РЖД» РФ был разработан проект на строительство железной дороги Селихин – Ныш с пересечением Татарского пролива по трем вариантам трассы. В составе проекта были разработаны проектные соображения по вариантам мостового и тоннельного перехода. Тоннельные варианты разрабатывало ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс». Были рассмотрены следующие варианты:

- вариант I. Тоннель Дн = 9,5 м и сервис, тоннель Дн = 5,5 м с щитовой проходкой;
- вариант II. Тоннель Дн = 11,5 м с щитовой проходкой;
- вариант III. Тоннель из опускных секций;
- вариант IV. Тоннельно\_мостовой переход;
- вариант V. Комбинированный тоннель с обделками из опускных секций на береговых участках и кругового очертания в русловой части.

В 2007 г. ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» на стадии инвестиций в строительстве выполнило два варианта сооружения тоннеля:

- опускные секции;
- ТПМК с пригрузом забоя.

Сооружение тоннеля опускными секциями в зависимости от створа стоит от 231527,73 до 289575,41 млн руб. Срок строительства 5–6,5 лет. Сооружение тоннеля с помощью ТПМК стоит от 171809,24 до 184763,26 млн руб. в зависимости от створа пересечения пролива. Срок строительства 9 лет 6 мес. Наиболее эффективным вариантом был признан вариант тоннеля большого поперечного сечения с щитовой проходкой Дн = 11,5 м. Сооружение тоннеля предусматривается с использованием специальных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с активным пригрузом забоя. Скорость передвижения по железнодорожному переходу составит до 120 км/ч. Преимущества тоннельного варианта транспортного перехода:

- значительная независимость эксплуатации от природно-климатических условий по сравнению с мостом;
- тоннели значительно безопаснее в эксплуатации;
- тоннельный вариант менее подвержен терроризму;

- стоимость эксплуатации транспортного перехода (как показывает опыт эксплуатации объектов\_аналогов в г. Хабаровске) по тоннельному варианту ниже, подземные сооружения менее подвержены нарушениям при землетрясениях, чем наземные, в частности – мосты. Поэтому в суровых природно-климатических и сложных инженерно-геологических условиях при высокой сейсмической опасности следует отдать предпочтение тоннельному варианту, как наиболее надежному при эксплуатации.

Заместитель главного инженера – главный технолог ОАО «Метрострой СПб» **А. Н. Ревва** сделал сообщение на тему «Опыт применения стволопроходческого комбайна российского производства при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена». Специалистами ОАО «Метрострой СПб» совместно со специалистами ООО «СОЭЗ» (г. Тула) разработан комбайн стволопроходческий СПК\_6,0. Комбайн выполняет следующие технологические операции:

- механизированная разработка грунта вертикального шахтного ствола с опиранием комбайна при помощи домкратов на подошву забоя;
- погрузка разработанного грунта подвешенным на силовом секторе комбайна экскаватором-погрузчиком в породную бадью;
- сборка тубингового кольца на монтажном кольце комбайна с последующим его подъемом и креплением к колонне ствола.

Работа комбайна осуществляется по циклической схеме. Диаметр возводимого ствола – 5,5 м. На сегодняшний день ведутся проходческие работы комбайном СПК\_6,0 на строительной площадке шахты № 571 Лахтинско-Правобережной линии Петербургского метрополитена.

Представитель фирмы ООО «БАСФ Строительные системы», Москва, **Д. В. Лыков** выступил с сообщением на тему «Нештатные ситуации в метростроении и способы их преодоления». В подземном строительстве возможно возникновение штатных ситуаций:

- неконтролируемые водопритоки;
- внезапные водопритоки;
- обрушение элементов горных выработок.

Возможные технические решения по ликвидации или предотвращению этих ситуаций:

- инъектирование: преинъекции и постинъекции;
- набрызг-технологии: набрызг-бетон, торкретирование, мембраны.

В сообщении дана информация о материалах, которые могут быть использованы для этих целей, условия и способы их применения.

С сообщением «Двухсводчатая станция метрополитена – передовые технологии, конструкторская мысль, экономическое обоснование» выступил **Н. О. Давтян**. В сообщении отмечены возможные варианты применения двухсводчатых станций. Приведено технико-экономическое сравнение предложенных конструкций с существующими станциями глубокого заложения: трехсводчатой станцией колонного типа, пилонного типа и односводчатой. Также доложены способы возведения двухсводчатой станции.

Специалисты турецких компаний «Голдай Каучук» и ООО «Сечиль Каучук» презентовали материалы для гидроизоляции подземных сооружений – метрополитенов и тоннелей.

Затем последовало обсуждение заслушанных докладов и сообщений, ответы на вопросы и обмен мнениями. Подводя итоги заседания, участники форума единодушно отметили, что несовершенство законодательной базы, регулирующей порядок подготовки и согласования проектной документации, не позволяет осуществлять комплексное проектирование подземных объектов и в приемлемые сроки получать согласование проектов метростроения.

В завершение официальной части состоялось награждение победителей конкурса ГАР «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений».

**В номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений» награждены:**

- АО «Мосинжпроект», Москва, за научно-техническое сопровождение строительства объектов Кожуховской линии Московского метрополитена,
- ООО «Институт Мосинжпроект» за проектирование участка трассы автомобильной дороги в виде совмещенного тоннеля от Калужского шоссе к д. Столбово и обратно,
- ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург, за механизированную проходку стволов комбайном стволопроходческим СПК\_6,0 (Россия),
- ОАО «Минскметропроект», г. Минск, за сооружение тоннелей Кожуховской линии под тоннелями Таганско-Краснопресненской линии Московского метрополитена. Мероприятия по безопасной проходке.

**В номинации «Технологии при проходке тоннелей и строительство подземных сооружений закрытым способом» награждено -** ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург, за разработку проекта строительства железнодорожной линии Селихин – Ныш между материком и островом Сахалин с тоннельным переходом пролива Невельского (станция «Обоснование инвестиций»).

**В номинации «Гидроизоляционные материалы и устройство для отвода воды» награждено -** АО «Мосметрострой» за модернизацию Владивостокского тоннеля Дальневосточной железной дороги, подавление активных водопритокков и устройство напыляемой гидроизоляции на основе полимеров.



**Победители конкурса ТАР «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений»**

28 сентября 2018 г. для участников форума специалистами УП «Минскметрострой» была организована техническая экскурсия на строящиеся ст. метро «Жуковского» (г. Минск, ул. Воронянского, 50), ст. «Юбилейная» (г. Минск, ул. Сухая).

Станция «Жуковского» в настоящее время имеет высокую степень готовности (приблизительно 90 %). Это станция с оборотными тупиками, одним вестибюлем, с платформенным участком в однопролетном сводчатом исполнении. Станция сооружена в котловане с ограждающими конструкциями в комбинированном исполнении: методом «стена в грунте» и в классическом исполнении с применением 60-го двутавра и деревянной затяжкой. Глубина залегания относительно невысокая – порядка 15–16 м. На станции минские метростроители продемонстрировали качественно исполненное верхнее строение пути в безшпальном варианте изготовления с применением виброзащитных блоков. Эти изделия успешно разработаны, испытаны и сертифицированы заводом ЖБИ УП «Минскметрострой».



Станция «Юбилейная» находится в стадии возведения конструкций. Это будет самая глубокая станция Минского метрополитена. Глубина залегания достигает 27 м. Она является пересадочной со второй линии на третью и с третьей на вторую. При строительстве одного из пересадочных ходов участок закрытого способа работ горным способом прошел под существующим 9-этажным зданием. При этом деформации конструкций здания были минимальны и оказались ниже расчетных. Станция сооружается в стесненных городских условиях в открытом котловане с ограждением бортов, выполненных методом «стена в грунте». Для крепления бортов применено несколько ярусов прядевых анкеров, которые были впервые применены в Минске. Благодаря их использованию удалось развить усилие натяжения анкеров в 300 т. Также впервые в Минском метрополитене применен новый тип изоляции конструкций – ПВХ мембрана. Она имеет большое преимущество в ремонтпригодности в процессе эксплуатации подземных сооружений.



Прошедший форум еще раз продемонстрировал профессионализм и широкие возможности специалистов в области метростроения и комплексного освоения подземного пространства. Очевидно, что благодаря усилиям профессионального сообщества идея комплексного освоения подземного пространства как основы формирования комфортной и безопасной городской среды постепенно будет реализована. Тоннельщики России и Беларуси готовы к работе и надеются на поддержку со стороны государства, без которой невозможна реализация крупных инфраструктурных проектов.