

Минск, Республика Беларусь
Конференц-зал отеля
«Ренессанс Минск»

27-28
СЕНТЯБРЯ
2018



ОРГАНИЗАТОРЫ



ОПЕРАТОР МЕРОПРИЯТИЯ



ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСТАВОЧНЫХ
ПРОЕКТОВ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Минск 2018

www.rus-tar.ru

ТРУДЫ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ФОРУМА

**«ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА»**

Минск 2018

ОРГАНИЗАТОРЫ



www.metropr.by



<http://metrostroy.by>



<http://bel-ta.by>



www.rus-tar.ru

ОПЕРАТОР МЕРОПРИЯТИЯ



СПОНСОРЫ МЕРОПРИЯТИЯ



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПАРТНЕРЫ



СОДЕРЖАНИЕ

В. В. Чеканов. Минский метрополитен: вчера, сегодня, завтра.....	8
П. Н. Непочелович. Проектирование и строительство первого участка третьей линии Минского метрополитена. Особенности проектных решений.....	14
И. О. Панкевич. Второй участок третьей линии Минского метрополитена.....	21
Д. С. Конюхов, А. Г. Полянкин, Д. С. Петунина. Научное обоснование мероприятий по обеспечению сохранности окружающей застройки при строительстве метрополитена в Москве.....	29
Э. И. Клок. Электродепо «Слуцкое». Третья линия Минского метрополитена.....	43
В. А. Гращенков. Мероприятия по защите действующего метрополитена при строительстве объекта «Транспортная развязка на пересечении пр. Независимости с ул. Филимонова».....	46
В. И. Штанюк. Проектирование объектов Минского метрополитена с применением BIM-технологии.....	65
А. Д. Долбунов. Использование метода «стена в грунте» при строительстве Минского метрополитена.....	71
Е. М. Науменко. Методика определения графоаналитическим способом просадок грунта при щитовой проходке тоннелей.....	76
С. С. Позняков. Опыт ОАО «Минскметропроект» по проектированию автодорожных и железнодорожных тоннелей.....	84
Н. И. Сенюк. Создание гостеприимного пространства городской среды.....	90
Н. И. Кулагин, В. А. Маслак, К. П. Безродный, М. О. Лебедев. О тоннеле на о. Сахалин.....	94
В. Е. Русанов. Основные принципы проектирования фибробетонных обделок тоннелей на основе стандарта СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2013.....	99
А. Н. Ревва. Механизация горнопроходческих работ. Опыт применения стволопроходческого комбайна российского производства при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена.....	101

Р. Л. Гучёк, А. П. Михайлов. О строительстве станционного комплекса В05 Фиолетовой (четвёртой) линии Бакинского метрополитена полузакрытым способом под защитой экрана из труб, выполненных методом микротоннелирования..... 104

Уважаемые коллеги!

От имени Правления Тоннельной ассоциации России разрешите поприветствовать участников форума. Научно-технический форум, организованный Тоннельной ассоциацией России и ОАО «Минскметропроект», УП «Минскметрострой», Тоннельной ассоциацией Республики Беларусь, посвящен развитию тоннелестроения.

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. Столь широкое представительство свидетельствует о востребованности подобного формата общения, о реальных перспективах его перевода на постоянную основу.

На форуме предполагается обсудить много вопросов, касающихся проблем и перспектив подземного строительства как в республике Беларусь, так и в России. Это и строительство метрополитенов и инновационное развитие подземной инфраструктуры, и особенности проектирования нового строительства подземных объектов в условиях плотной городской застройки, и безопасность на объектах подземного строительства, и многие другие вопросы. От эффективного решения этих проблем во многом зависит совершенствование единой транспортной системы страны, динамичное развитие отечественной экономики и российских регионов, качество жизни людей.

Уверены, что в ходе ваших содержательных дискуссий будут выработаны новые интересные идеи и инициативы, а форум утвердится в качестве эффективного механизма многостороннего сотрудничества.

Выражаем глубокую благодарность за гостеприимство нашим белорусским партнерам, а именно Тоннельной ассоциации Республики Беларусь, ОАО «Минскметропроект», УП «Минскметрострой».

Желаем вам плодотворного сотрудничества и успехов в работе.

***Председатель Правления Тоннельной ассоциации России
К. Н. Матвеев***



МИНСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

В. В. Чеканов, ОАО «Минскметропроект»

Минск в конце 60-х годов стал городом-миллионником и получил право заниматься проектированием и строительством метрополитена.

В 1973 г. было разработано ТЭО на первую очередь строительства Минского метрополитена, а в 1976 г. – технический проект первого участка первой линии от станции «Институт Культуры» до станции «Московская» протяженностью 8,7 км с восемью станциями, электродепо и инженерным корпусом.

16 июня 1977 г. в торжественной обстановке была забита первая свая в котлован будущей станции «Парк Челюскинцев», с этого события и началось строительство Минского метрополитена (рис. 1).



Рис. 1. Первая свая в котлован будущей станции «Парк Челюскинцев»

Для строительства метрополитена были созданы:

- Дирекция строящегося метрополитена – организация-заказчик;
- Минскметропроект – проектная организация;
- Минскметрострой – генподрядная строительная организация.

Минский метрополитен – мелко-го заложения, это было обусловлено сложными инженерно-геологическими условиями строительства. На глубину до 200 м они представлены неустойчивыми грунтами:

- насыпные грунты;
- пески различной крупности;
- галечниковые и гравийные грунты;
- супеси и суглинки.

Высокий уровень грунтовых вод, на контакте песков и супесей находится верховодка, а также россыпи

валунов диаметром от 300 до 500 мм, встречаются валуны больше 1 м.

План и профиль трассы определялись городской застройкой, инженерно-геологическими условиями и рельефом местности, а также существующими и перспективными подземными сооружениями.

Сложившаяся городская планировка с радиально-концентрическим расположением улиц, геологические особенности грунта, накладывающие ограничения на за-

глубление конструкций, составили для всего городского хозяйства сложную задачу по предоставлению фронта горнопроходческих работ. Достаточно сказать, что в период строительства пускового участка главная транспортная артерия города – Ленинский проспект (ныне проспект Независимости) – в течение трех лет была полностью закрыта для движения всех видов транспорта, и без серьезной предварительной подготовки город столкнулся бы с непреодолимыми транспортными трудностями. Аналогичные проблемы были предварительно решены по магистральным сетям водопровода и канализации, теплоснабжения, электроснабжения и связи.

В процессе производства работ возникало много разнообразных проблем по увязке строительства метрополитена с существующими устройствами и сооружениями города. Решая сложные задачи, проектировщики, строители, эксплуатирующие организации проявили профессионализм, инициативу, инженерную смекалку, изобретательность.

На участке первой линии метро строители столкнулись со многими сложными участками: подводные реки, городская река Свислочь, железнодорожные пути, исторические находки.

В результате все трудности были успешно преодолены.

Первая линия метрополитена была сдана в эксплуатацию 30 июня 1984 г., накануне знаменательного праздника – 40-летия освобождения Белоруссии от немецко-фашистских захватчиков. Станции сдали на восемь месяцев раньше срока с оценкой «отлично».

День открытия метро был встречен тысячами минчан с большим восторгом, нашедшим отражение в книгах отзывов. Вот, например, одна из записей, сделанная жительницей города: «Вошла в метро и плачу от радости и гордости за свой город и за свою страну. Большое спасибо строителям метро. Это огромное чудо!».

В последующем было сдано еще девять участков метрополитена.

Минский метрополитен был запроектирован и построен на уровне самых высоких требований и стандартов того времени.

Перегонные тоннели прокладывались в основном закрытым способом – щитовая проходка немеханизированными щитами типа ЩН-1 производительностью до 75 м/мес.

Станции – в котлованах с вертикальным креплением. В качестве крепления использовались: металлические балки (широкополочный двутавр), опускаемые в пробуренные скважины; буронабивные сваи; монолитные железобетонные подпорные стены, сооружаемые методом «стена в грунте». Вертикальные стены котлована от обрушения удерживались металлическими трубчатыми расстрелами (трубы диаметром 630 мм) или грунтовыми анкерами.

Конструкции станционных комплексов и притоннельных сооружений (венткамеры, ВОУ, вентсбойки и т. д.) возводились в основном из сборных железобетонных элементов, а также монолитного железобетона. Станционные комплексы проектируются многоуровневыми, с блокировкой пристанционных сооружений. Это позволило максимально использовать пространство вскрываемого котлована, при этом

сократилась длина станционного комплекса, если сравнивать с традиционными проектными решениями. Как результат – снижение объемов строительных материалов, сокращение сроков работ.

При строительстве первой линии Минского метрополитена использовались самые передовые на то время конструкции, материалы, оборудование и технологии:

- тоннельная обделка: монолитно-прессованная-железобетонная; обделка обжатая в породу; чугунная обделка с плоским лотком; цельно-секционная обделка (для тоннелей открытого способа работ);
- для крепления котлована – траншейные стены из монолитного железобетона, сооруженные методом «стена в грунте». Это стена двойного назначения: на период строительства для крепления котлована; на период эксплуатации – постоянная несущая конструкция;
- металлические стержневые анкеры в грунте, выполненные станком «Бауэр»;
- напрягающийся цемент – позволил увеличить водонепроницаемость железобетонных конструкций.

По конструктивной схеме станции Минского метрополитена подразделяются на колонные (двух- и трехпролетные) и односводчатые. Колонные станции в поперечном сечении представляют собой сборно-монолитную раму, включающую элементы, изготавливаемые в заводских условиях, с шарнирным опиранием балок, плит покрытия и перекрытия (рис. 2).

Обделка односводчатых станций – из монолитного железобетона.

Основой конструктивной схемы обделки является жесткое соединение кругового свода и плоского двухшарнирного лотка переменной толщины с вертикальными стенами. Применение монолитного железобетона позволило создавать различные по архитектурному облику станции (рис. 3, 4 и 5).



Рис. 2. Колонная станция Минского метрополитена «Площадь Якуба Коласа»

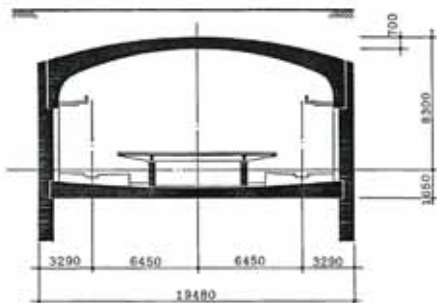


Рис. 3. Обделка платформы станции «Площадь Ленина»

Для снижения трудоемкости и увеличения темпов строительства Минскметропроект создал новую конструкцию одноводчатой станции из сборных железобетонных элементов. Обделка состоит из шести элементов двух типоразмеров по три элемента для лотка и свода станции. Отличие состоит только в армировании (рис. 6). Жесткость со-



Рис. 4. Одноводчатая станция «Институт Культуры»



Рис. 5. Одноводчатая станция «Парк Челюскинцев»

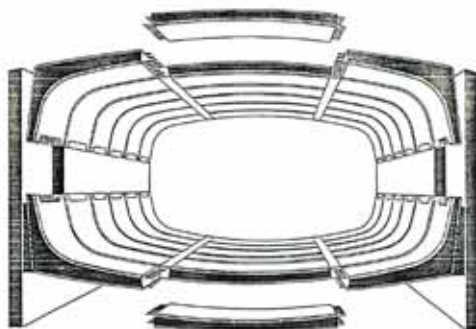


Рис. 6. Обделка одноводчатых станций из крупноразмерных сборных железобетонных элементов. Схема конструкции



Рис. 7. Станция «Восток»

единения элементов лотка, а также свода достигается за счет сварки арматурных выпусков с последующим их омоноличиванием бетоном на безусадочном цементе. Между лотком и сводом – вставка из монолитного железобетона. Вставка может быть разной высоты, и при этом можно менять высоту обделки целиком. Это позволяет разместить в такой обделке все пристанционные сооружения: платформенный участок, вестибюли, венткамеру, тягово-понижительную подстанцию, вентсбойки. Стены обделки выполнялись методом «стена в грунте» и имели двойное назначение: в период строительства они являлись креплением котлована в сочетании с расстрелами из металлических труб диаметром 630 мм или грунтовых анкеров, а в период эксплуатации – несущими постоянными конструкциями. Гидроизоляция станций оклеечная, из гидростеклоизола (битума на основе стекловолокна), наносится по методу оплавления газовыми горелками по всему периметру обделки: лотку, стенам, своду. Впервые такая обделка была использована при строительстве станции «Восток» (рис. 7).

А всего в Минске построено шесть станций в такой обделке. Использование индивидуальных архитектурных элементов позволило создать разные по архитектурному облику и принципам освещения станции.

В настоящее время в Минске эксплуатируется две линии метрополитена протяженностью 38,5 км с 29 станциями, двумя электродепо и инженерным корпусом.

Минское метро перевозит в сутки более 800 тыс. пассажиров, что составляет около 40 % всех пассажироперевозок города.

Минский метрополитен проектируется на основании комплексной транспортной схемы, входящей в состав «Генерального плана развития города Минска». В 2014 г. Генеральный план был откорректирован и разработана новая схема развития метро (рис. 8). Теперь она состоит из четырех линий (трех диаметральных и кольцевой):

- первая линия протяженностью 20,4 км с 17-ю станциями (идет из северо-восточной части города через центр в юго-восточную часть);



Рис. 8. Схема линий Минского метрополитена

- вторая линия протяженностью 23 км с 16-ю станциями (проходит с запада на восток города);
 - третья линия протяженностью 17,7 км с 14-ю станциями (проходит с севера на юг города);
 - четвертая линия (кольцевая) протяженностью 43 км с 16-ю станциями.
- Общая протяженность линий составляет 87,9 км и включает 63 станции.

В настоящее время строится участок третьей линии метрополитена протяженностью 8,4 км, включающий семь станций, электродепо и здание эксплуатационного персонала. Сдаваться он будет двумя пусковыми участками:

- первый участок протяженностью 4,41 км с четырьмя станциями (сдача в эксплуатацию – 2020 г.);
- второй участок протяженностью 4 км с тремя станциями (сдача в эксплуатацию – 2022 г.).

Особенностью проекта является внедрение нового уровня автоматизации метрополитена на базе микропроцессорной техники, а также обеспечение безопасности на современном уровне, например, устройство ограждений на платформенных участках станций, исключающее попадание пассажиров на пути метрополитена, и автоведение поездов.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕРВОГО УЧАСТКА ТРЕТЬЕЙ ЛИНИИ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

П. Н. Непочелович, ОАО «Минскметропроект»

Схема развития Минского метрополитена состоит из четырех линий общей протяженностью 77 км с 58 станциями (рис. 1).

Строительство метрополитена в г. Минске ведется с 1977 г. В настоящее время построено и действует две линии метрополитена, общей протяженностью 38,5 км с 29 станциями:

- линия «А» – первая линия от станции «Малиновка» до станции «Уручье» протяженностью 19,2 км с 15 станциями;
- линия «Б» – вторая линия от станции «Могилевская» до станции «Каменная Горка» протяженностью 19,3 км с 14 станциями.

Участки линий метрополитена в Минске вводились в эксплуатацию в 1984, 1986, 1990, 1994, 1997, 2001, 2005, 2007, 2012, 2014 гг.



Рис. 1

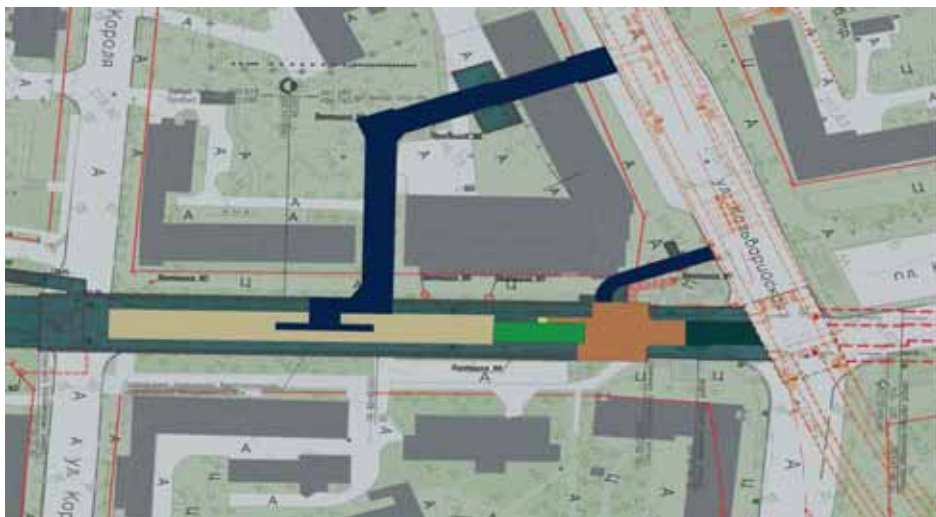


Рис. 2

В 2014 г. Минскому метрополитену исполнилось 30 лет, а пуск был «юбилейный» – десятый. Средний темп строительства метрополитена в Минске составил 1 км/год.

Линия «В» – третья линия Минского метрополитена. Ее протяженность составит 19 км, на ней будет расположено 14 станций. Линия соединит южный и северный секторы Минска с центральной частью города.

Строительство первого участка линии «В» от станции «Корженевского» до станции «Юбилейная» протяженностью 7,72 км позволит обеспечить скоростной транспортной связью с другими районами города жилой район «Курасовщина», а также деловой район «Минск-Сити», который будет размещаться на территории аэропорта Минск-1. При этом в центре города будет создан транспортно-пересадочный треугольник с вершинами в узлах на станциях «Октябрьская» – «Купаловская», «Площадь Ленина» – «Вокзальная» и «Фрунзенская» – «Юбилейная». Линия рассчитана на обращение 40 пар пятивагонных поездов в час пик.

В настоящее время ведутся работы по проектированию и строительству первого участка третьей линии метрополитена, где предусмотрено строительство семи станций, две из которых пересадочные. Пересадочные узлы предусмотрены между станциями «Фрунзенская» – «Юбилейная Площадь» (рис. 2) и «Площадь Ленина» – «Вокзальная» (рис. 3).

Приоритеты технической политики при разработке проекта – повышение комфорта передвижения пассажиров, высокий уровень автоматизации, технической безопасности и энергоэффективности при эксплуатации.

Более комфортные условия для передвижения пассажиров создаются путем механизации передвижения пассажиров на эскалаторах, в лифтах, пассажирских конвейерах.

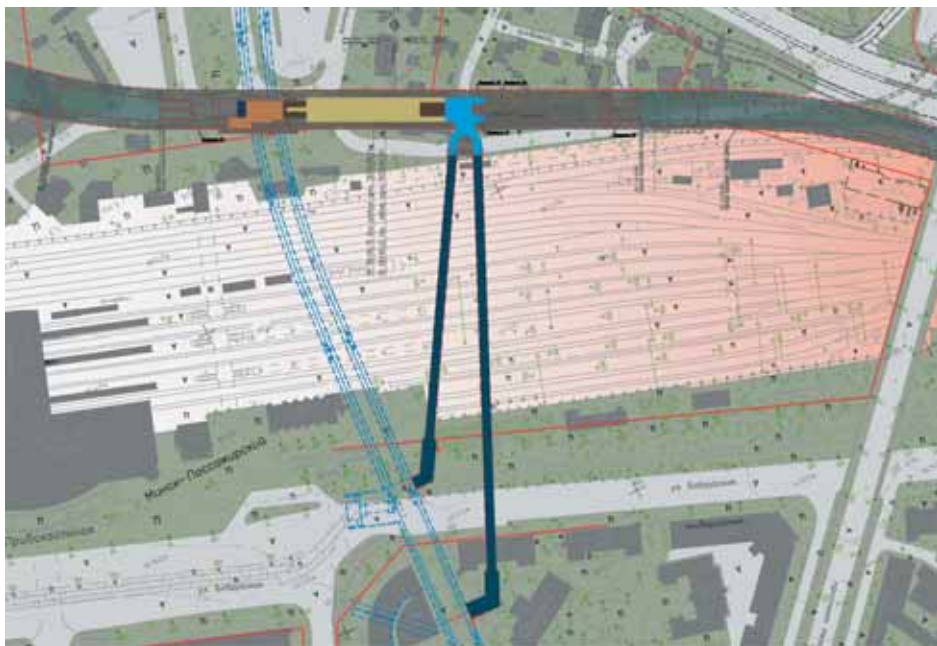


Рис. 3

Для ускорения перехода пассажиров между станциями с одной линии на другую, в пересадочных узлах запроектированы пешеходные конвейеры – «траволаторы» (рис. 4). Это решение впервые предусмотрено на Минском метрополитене.

По краю платформ всех станций также впервые предусмотрена установка барьерного ограждения (рис. 5) из закаленного стекла, препятствующего случайному или намеренному попаданию пассажиров на пути поездов. Высота барьеров – 1,6 м. Над барьерами безопасности на высоте 2,1 м предусматривается размещение информационных световых конструкций, которые будут являться дополнительными



Рис. 4

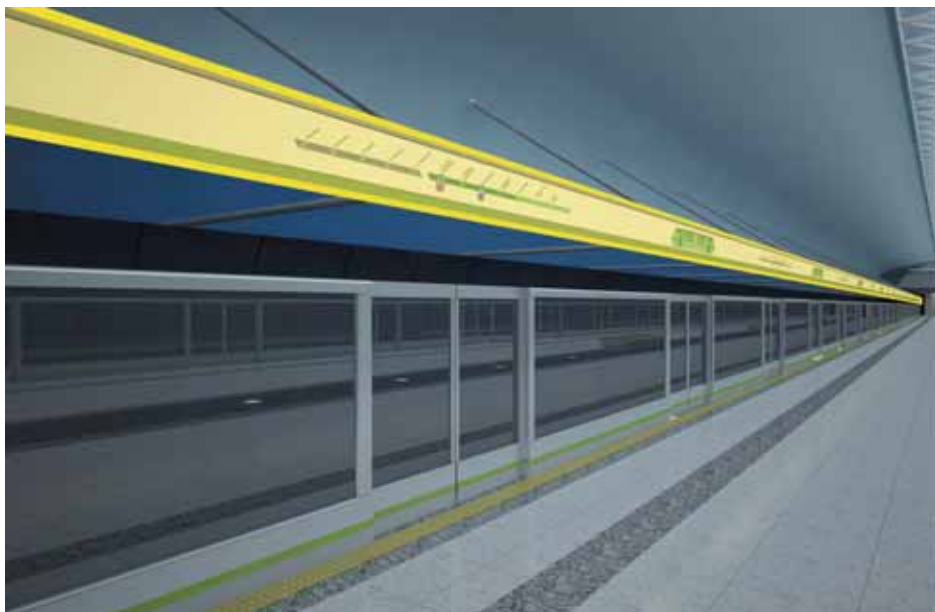


Рис. 5

источниками освещения, а также местом размещения всей необходимой информации для пассажиров.

На третьей линии предусмотрена автоматизация технологических процессов обслуживания пассажиров и эксплуатации инженерных систем метрополитена:

- управления движением поездов;
- оплаты проезда;
- управления дверями платформенных барьеров;
- управления технологическими процессами и работой инженерного оборудования;
- системы учета электроэнергии.

Отличительной особенностью проектных решений является более высокий уровень автоматизации управления движением поездов на основе применения микропроцессорной техники, позволяющий осуществлять движение в режиме автоведения. Разработан также проект автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) инженерными системами и основными технологическими процессами на базе микропроцессорной техники, что ведет к снижению доли участия человека в тестировании, мониторинге и эксплуатации этих систем.

Еще одной особенностью проекта является предложенный разработчиками полный отказ на новых станциях от внешнего потребления тепловой энергии для отопления станций. Предусмотрено совершенствование системы автономного теплоснабжения с применением тепловых насосов, которые используют низкопотенциальное тепло, выделяемое пассажирами, оборудованием и поездами.

Станционные комплексы оборудуются современными системами обнаружения пожара, оповещения о возникновении чрезвычайных ситуаций, автоматизированными установками пожаротушения и дымоудаления, системами связи, информационными системами.

Создание условий безопасности для пассажиров при воздействии внешних угроз, террористических актов, различного проявления агрессии людей предусмотрено путем оборудования станций системой видеонаблюдения, позволяющей службам метрополитена и МВД видеть реальную ситуацию в большом скоплении людей. Для оперативного обеспечения и контроля общественной безопасности проектом предусматривается создание ситуационного центра в инженерном корпусе метрополитена.

Для управления линией и поддержания высокого уровня безопасности проектируется расширение существующего инженерного корпуса с размещением в нем

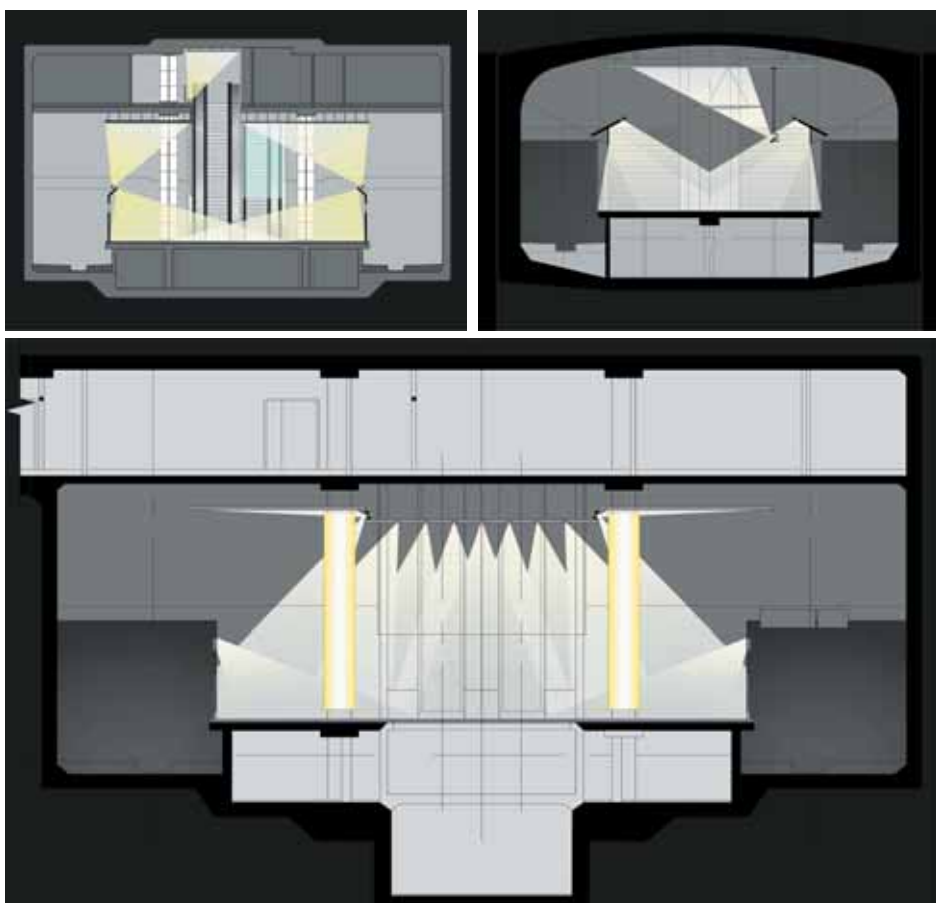


Рис. 6

ситуационного центра. Кроме расширения инженерного корпуса планируется строительство наземного здания эксплуатационного персонала и электродепо для всей линии.

Концепция решений по архитектурным интерьерам пешеходных зон станций основана на следующих принципах:

- архитектурным приоритетом является объемно-планировочное решение станционного комплекса, отвечающее всем требованиям по обеспечению безопасности передвижения пассажиров, конструктивной безопасности и условиям вписывания станции в городскую среду;
- использование национальных мотивов в интерьерах с привязкой к городским территориям, на которых расположены станции;
- минимизация отделочных работ с мокрыми процессами с заменой на «сухие», монтажные технологии отделки (панели из нержавеющей стали и стекла, подвесные потолки из негорючих материалов, системы облицовки естественным и искусственным камнем по технологии «вентилируемый фасад»);
- применение отделочных материалов, производимых преимущественно в Республике Беларусь и странах Таможенного союза;
- уменьшение площадей в пассажирских зонах, подлежащих декоративной отделке.

Так, для отделки путевых стен и низа перекрытий на участке платформы над путями, как правило, предусматривается окраска по бетону без всякой подготовки.

Такой подход позволит получить недорогую, выразительную отделку станций, удобную в эксплуатации.

Еще одним элементом дизайна пассажирских зон станет создание энергоэффективной системы архитектурного электроосвещения, как рабочего-повседневного, так и праздничного (рис. 6).

Участок будет оборудован современной бесшпальной конструкцией верхнего строения пути, основными свойствами которой будет эксплуатационная надежность, снижение уровня шума и вибрации.

Проектом установлены повышенные технические требования к подвижному составу. Это должны быть вагоны нового поколения с системами автоматизированного управления, менее шумные и более комфортные, а также экономичные в эксплуатации. В настоящее время ведется разработка проекта новых вагонов для их производства в Белоруссии.

Ответом на сложные инженерно-геологические и градостроительные условия стали соответствующие инженерные решения по конструкциям и способам строительства третьей линии. На этом непростом участке применен широкий набор технических приемов строительства:

- проходка тоннелей механизированными щитами с грунтопригрузом забоя;
- технология «стена в грунте» при проходке сооружений в непосредственной близости от зданий, инженерных сетей и проезжей части улиц;
- технология Джетграундинг;



Рис. 7

- применение железобетонных тоннельных обделок повышенной водонепроницаемости на участках высокого уровня грунтовых вод;
- конструкции тоннельных и станционных обделок с противодеформационными мероприятиями;
- специальные способы строительства – водопонижение на протяженном участке, улучшение грунтового основания тоннелей открытого способа работ путем замены грунтов на песчаную подушку;
- широкое применение разнообразных способов крепления котлованов - свайное, анкерное, из буронабивных свай;
- оптимальное сочетание сборного и монолитного железобетона.

Прогрессивные технические решения, апробированные на первом участке третьей линии Минского метрополитена, и накопленный опыт найдут применение при проектировании новых объектов. Это второй участок линии «В» и линия «Г» Минского метрополитена.

ВТОРОЙ УЧАСТОК ТРЕТЬЕЙ ЛИНИИ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

И. О. Панкевич, ОАО «Минскметропроект»

Градостроительные условия

Минск имеет незаконченную радиально-кольцевую структуру уличной сети. Площадь городской территории 187 км². Массовые пассажирские перевозки в городе осуществляются автобусом, троллейбусом, трамваем и метрополитеном.

Наивысшая концентрация транспортных потоков в городе наблюдается по направлениям юго-запад – северо-восток, юго-восток – запад и юг – север.

На первых двух направлениях расположены первая и вторая линии метрополитена. По направлению юг – север, в соответствии со схемой развития городской транспортной сети, предусмотрена третья линия Минского метрополитена от станции «Корженевского» до станции «Зеленый Луг».

В 2018 г. в Минске эксплуатируются две линии метрополитена. Протяженность первой линии от станции «Малиновка» до станции «Уручье» составляет 19,95 км. Протяженность второй – от станции «Каменная Горка» до станции «Могилевская» – 18,4 км. В эксплуатации находятся два электродепо:

- на первой линии – электродепо «Московское»;
- на второй линии – электродепо «Могилевское».



В соответствии с утвержденной схемой поэтапного развития линий метрополитена трасса третьей линии Минского метрополитена имеет направление с юга (микрорайон «Серова») через центральную часть города на север (микрорайон «Зеленый Луг»).

Трасса второго участка третьей линии проходит по ул. Мельникайте, просп. Машерова, ул. Максима Богдановича, ул. Широкая, Логойский тракт.

Электродепо «Слуцкое» третьей линии располагается на участке существующей промышленной застройки в квартале ул. Кижеватова – ул. Серова – МКАД. Ввод в эксплуатацию первой очереди второго участка (участка от ст. «Профсоюзная» до ст. «Парк Дружбы народов») потребует расширение электродепо «Слуцкое».

Осложняющими градостроительными факторами, оказывающими влияние на положение трассы в плане и профиле, являются:

- переустройство коллектора «Центр», расположенного в районе ул. Тимирязева и проспекта Победителей (р-н гостиницы «Юбилейная»);
- перспективная транспортная развязка в двух уровнях на пересечении ул. Орловская – ул. Сурганова – ул. Максима Богдановича;
- пресечение трассой метрополитена водной системы р. Свислочь;
- вынос из под пятна строительства коридора существующих высоковольтных линий электропередач ВЛ110кВ Минск Северная – Минск Восточная в районе ул. Широкая;
- расположение трассы в районах с плотной городской застройкой и развитой системой инженерных коммуникаций;
- переустройство коллектора Слепянской водной системы в районе Логойского тракта.

Второй участок включает в себя семь станций: «Профсоюзная», «Переспа», «Комаровская», «Парк Дружбы Народов», «Ивана Мележа», «Зеленый Луг» и «Логойская».

Трасса проходит по ул. Мельникайте, просп. Машерова, ул. Максима Богдановича, ул. Широкая и по Логойскому тракту. В целях наименьшего нарушения жизнедеятельности города, сооружение перегонных тоннелей предусматривается закрытым способом, а станций – открытым (табл.).

Пассажиropотоки на линиях метрополитена определены на 2030 г. комплексно, при участии всех видов пассажирского транспорта, с учетом уровня автомобилизации по срокам реализации транспортной системы. Расчеты выполнены УП «Минскградо» на утренний час пик максимальных суток на основании утвержденных в корректуре генерального плана схем развития линий метрополитена, поэтапной реализации магистральной улично-дорожной сети и строительства транспортных объектов г. Минска до 2030 г.

На период пуска очереди строительства второго участка третьей линии метрополитена от станции «Парк Дружбы народов» до станции «Логойская» максимальный пассажиропоток ожидается на перегоне ст. «Юбилейная» – ст. «Профсоюзная» – 21100 чел. в час пик.

Характеристика трассы

Строительная длина в двухпутном исчислении, км	8,44
Эксплуатационная длина, км	8,74
Количество станций, шт.	7
Кривые в плане (в двухпутном исчислении), км	2,65
Кривые в плане R менее 600 м, %	31,4
Протяженность участков с уклоном 0,045‰, %	2,43
Среднее расстояние между осями станций, м	1222,0

Количество пар поездов в час пик, необходимое для перевозки пассажиров самого нагруженного перегона, составит 28 пятивагонных составов.

На втором участке третьей линии Минского метрополитена предусматривается один перспективный пересадочный узел между третьей и четвертой линиями на станции «Парк Дружбы народов». Пересадка с третьей на четвертую линию осуществляется с платформы станции «Парк Дружбы народов» на платформу станции «Максима Богдановича» по тоннелю с односторонним движением. Пересадка с четвертой линии на третью осуществляется с платформы станции «Максима Богдановича» через первый вестибюль станции «Парк Дружбы народов».

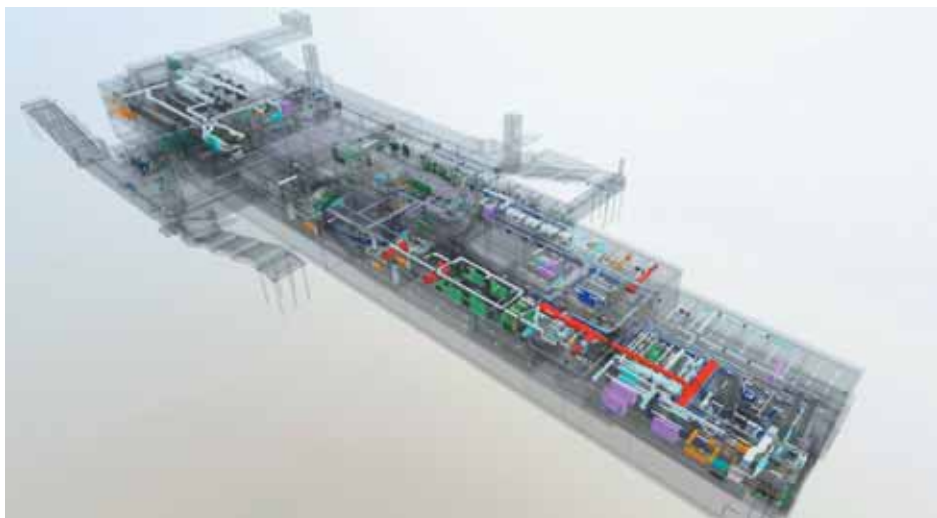
Архитектурно-строительные решения

Станционные комплексы промежуточных станций («Профсоюзная», «Переспа», «Комаровская», «Ивана Мележа», «Зеленый Луг») предлагается выполнить одной планировочной и конструктивной схемы.

Станция «Парк Дружбы народов» (пересадочная на ст. «Максима Богдановича» четвертой линии Минского метрополитена) и станция «Логойская» (тупиковая станция) предусмотрены с двумя вестибюлями.

В основу разработки конструктивных решений участка линии положены следующие принципы:

- индустриализация строительства за счет применения освоенных заводом ЖБИ УП «Минскметрострой» сборных железобетонных изделий и монолитного железобетона в современных опалубочных системах;
- снижение материалоемкости, трудоемкости и металлоемкости за счет сокращения объемов станционных комплексов путем рациональной блокировки сооружений;



Станция «Логойская» первого участка третьей линии Минского метрополитена

- обоснованное применение типов обделок станций, притоннельных сооружений и тоннелей с учетом инженерно-геологических и гидрогеологических условий, градостроительных требований и технологии строительства.

Класс геотехнического риска строительства по ТКП 45-5.01-254-2012 для проектируемых сооружений метрополитена установлен как «Н» (сильный) и «Б» (умеренный).

Организация строительства

Условия строительства второго участка третьей линии Минского метрополитена характеризуются как сложные. Трасса линии проходит по районам с плотной городской застройкой, с развитой системой инженерных коммуникаций, транспортных магистралей, пересекает русло р. Свислочь. Глубина заложения трассы на всем участке определяется следующими факторами: пересечение трассы третьей линии метрополитена с перспективной развязкой на площади Бангалор и необходимостью обеспечения безопасного заложения проходки от шельги свода тоннеля до дневной поверхности, под руслом реки или до действующих коммуникаций.

Инженерные и гидрогеологические условия строительства на значительной части трассы сложные. Трасса в большинстве своем проходит ниже уровня грунтовых вод, пересекает реку Свислочь, пересекает участки с залеганием неустойчивых грунтов с низкой несущей способностью, участки моренных и валунно-галечниковых отложений.

Строительство участка линии в имеющихся инженерно-геологических условиях, в сложившейся градостроительной ситуации, в планируемые сроки возможно только при условии применения современного механизированного высокопроизводитель-

ного проходческого оборудования (два комплекса ТПМК с грунтопригрузом), передовой техники и технологий буровых, земляных, геотехнических и строительно-монтажных работ.

Строительство второго участка третьей линии Минского метрополитена предполагает выделение следующих очередей строительства:

1-я очередь – инженерная подготовка территории строительства участка от ст. «Юбилейная» до ст. «Парк Дружбы народов»;

2-я очередь – сооружение участка от ст. «Юбилейная» до ст. «Парк Дружбы народов» с камерой съезда и тупиками;

3-я очередь – инженерная подготовка территории строительства участка от ст. «Парк Дружбы народов» до ст. «Логойская»;

4-я очередь – сооружение участка от ст. «Парк Дружбы народов» до ст. «Логойская» с камерой съезда и тупиками;

5-я очередь – расширение электродепо «Слуцкое»;

6-я очередь – реконструкция инженерных систем ЗЭП;

7-я очередь – реконструкция инженерных систем Инженерного корпуса.

Перегонные тоннели участка линии сооружаются закрытым способом тоннелепроходческими механизированными комплексами (ТПМК) с грунтопригрузом и немеханизированными проходческими щитами ЩН-1С, а также открытым способом в котлованах с креплением «стеной в грунте», со свайным и шпунтовым креплением. Планируемая суммарная длина участков проходки ТПМК – 6596 м. На 2-й очереди строительства проходка ТПМК предусмотрена сквозная от ст. «Парк Дружбы народов» до ст. «Профсоюзная» с проходкой через грунтовый массив ст. «Комаровской» и ст. «Переспа», для чего компоновка этих станций выполнена минимальной длины. Длина тоннелей, проходимых ТПМК без демонтажа, – два тоннеля по 3040 м. Выбор варианта сквозной проходки был основан на сравнении трёх способов строительства перегонных тоннелей: сквозная проходка, протаскивание ТПМК через котлован и монтаж и демонтаж ТПМК в начале и конце станции. По результатам сравнения сквозная проходка оказалась наиболее экономически целесообразной. На 4-й очереди строительства предусмотрена сквозная проходка от ст. «Парк Дружбы народов» до ст. «Логойская» через грунтовый массив ст. «Ивана Мележа» и ст. «Зелёный Луг», для чего компоновка этих станций выполнена минимальной длины. Длина тоннелей, проходимых ТПМК без демонтажа, – два тоннеля по 3556 м. Для сокращения сроков строительства, за счёт уменьшения технологического перерыва в выполнении основных строительно-монтажных работ по станциям, проектом предусматривается перенос технологии стартового котлована после проходки каждой из станций. Планируемые участки проходки тоннелей немеханизированными проходческими щитами – два тоннеля длиной 258 м.

Предполагаемый объем разработки грунта при строительстве участка линии составляет 1967,17 тыс. м³, в т. ч. грунта от проходки ТПМК, перемешанного с пенообразующим раствором – 377,80 тыс. м³, грунта пригодного для обратной засыпки –

953,62 тыс. м³, грунта непригодного для обратной засыпки – 635,75 тыс. м³. Объем грунта обратной засыпки конструкций – 944,31 тыс. м³.

Необходимость применения при строительстве второго участка третьей линии Минского метрополитена ТПМК обусловлена целым рядом факторов организационного, экономического, технологического, производственного характера. Высокая скорость проходки 250–400 м/мес при использовании ТПМК, по сравнению с проходкой обычными щитами, технологичность, безопасность работ, меньшее влияние при проходке на существующую земную поверхность по трассе линии и инженерную инфраструктуру города, экономические показатели проходки определяют возможности и предпочтительное, по сравнению с обычными щитами, использование ТПМК.

Высокая скорость проходки обеспечивает выполнение требуемых темпов строительства участка с минимальными необходимыми организационными затратами и затратами по обслуживающим процессам закрытого способа работ.

Минимизированные просадки грунтов над сооружаемыми тоннелями и дневной поверхности по трассе тоннелей позволяют снизить затраты по инженерной подготовке и восстановлению территории строительства за счёт уменьшения объёма сноса и усиления инженерных сетей и сооружений, попадающих в зону возможных деформаций, объёма нарушения и последующего восстановления благоустройства и проезжей части проезжей части улиц при проходке тоннелей.

Внедрение новых технологий, новой высокопроизводительной техники, организационных схем ведения работ, неопробированных при ведении строительных работ в условиях г. Минска, требуют организации работ по научно-техническому сопровождению строительства с целью совершенствования технологии и повышения качества выполняемых работ. Основными направлениями научного сопровождения являются:

- мониторинг состояния зданий и сооружений в процессе строительства, с анализом результатов мониторинга и выработкой решений и рекомендаций;
- разработка норм проектирования отвалов пластифицированного грунта после проходки ТПМК с грунтопригрузом;
- определение зоны влияния на близлежащие сооружения при строительстве объектов метрополитена;
- применение тоннелепроходческого механизированного комплекса при проходке тоннелей в инженерно-геологических условиях г. Минска;
- совершенствование технологии крепления бортов котлованов методом «стена в грунте», с целью повышения качества выполняемых работ и обеспечения водонепроницаемости;
- устройство шпунтового ограждения котлованов в геологических условиях г. Минска, с минимизацией воздействия на окружающую застройку;
- применение грунтовых буроинъекционных анкеров с теряемым наконечником на креплении котлованов открытого способа работ;

- применение технологии струйной цементации при устройстве грунтоцементных свай, противофильтрационных и противодеформационных экранов;
- геотехнический мониторинг (оценка влияния строительства на существующие здания и сооружения, определить порядок и разработать нормативные требования к переустройству сетей и инженерных сооружений в непосредственной близости от проходки тоннелей и строительства «стены в грунте»);
- определение и расчёт рисков при строительстве метрополитена;
- устройство беспшальной конструкции верхнего строения пути метрополитена с применением современных технологий и оборудования.

Антитеррористическая защищенность объекта

Антитеррористическая защищенность объекта обеспечивается за счет функционирования инженерно-технических и режимных мер, предусмотренных проектной документацией, направленных на предотвращение террористического акта.

Общие требования к проектным решениям по обеспечению технической защищенности зданий и сооружений и эксплуатации систем технической защищенности принимаются в соответствии с требованиями ТКП 45-3.02-265-2012.

Основной задачей для решения мероприятий по антитеррористической защищенности является предотвращение несанкционированного доступа на объект физических лиц, транспортных средств и грузов, осуществление контроля над ними в процессе эксплуатации, а так же обнаружение террористических средств.

На втором участке третьей линии предусматриваются следующие системы обеспечения безопасности:

- системы автоматической охранной сигнализации;
- система контроля и управления доступом;
- средства связи;
- мероприятия по обеспечению пожарной безопасности;
- система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений.

Эвакуационные мероприятия обеспечиваются архитектурно-планировочными решениями объекта, разрабатываемыми в соответствии с требованиями ТКП 45-2.02-22-2006 «Здания и сооружения. Эвакуационные пути и выходы» в разделах проекта АР, АС и состоянием транспортной и дорожной сети.

Предпроектные решения объекта обеспечивают своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей, которые могут подвергнуться воздействию опасных факторов пожара, а также защиту людей на путях эвакуации от воздействия опасных факторов пожара.

Для обеспечения беспрепятственного ввода и передвижения на данном объекте средств ликвидации последствий аварии в проекте предусматривается обеспечение противопожарных разрывов, устройство подъездов для пожарных автомобилей, электроосвещение пожарных гидрантов, проезды к источникам наружного противопожарного водоснабжения (пожарным гидрантам), доступ пожарных подразделений в подземные сооружения и помещения метрополитена.

ВІМ-технологии

В рамках выполнения приказа Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 27 октября 2014 г. № 298 «О применении ВІМ-технологии в проектировании» ОАО «Минскметропроект» ведет деятельность по внедрению информационного моделирования и выполнения проектов объектов Минского метрополитена с применением ВІМ-технологий.

Создание информационных моделей объектов метрополитена несет в себе, помимо физических размеров будущего сооружения, 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 позволяет оптимизировать процесс строительства, получить точные расчеты стоимости объекта, снизить конечные издержки при проектировании, строительстве и эксплуатации.

Выводы

Строительство второго участка третьей линии Минского метрополитена от станции «Профсоюзная» до станции «Логойская» обеспечит скоростной транспортной связью жилые микрорайоны северного сектора города с его центром. При этом с учетом пересадки на первую линию метрополитена (станция «Вокзальная – станция «Площадь Ленина») и вторую линию (станция «Юбилейная» – станция «Фрунзенская») обеспечивается связь указанных жилых районов с предприятиями и жилыми районами северо-восточной части города, а также с юго-восточной промзоной и жилыми районами северо-западной части города соответственно.

При одновременном уменьшении объема движения автобусов улучшится экологическая обстановка в прилегающих жилых районах.

Строительство объектов метрополитена не окажет вредного воздействия на окружающую среду при выполнении комплекса мероприятий, предусматриваемых в проекте.

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СОХРАННОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНА В МОСКВЕ

Д. С. Колюхов, А. Г. Полянкин, Д. С. Петунина, АО «Мосинжпроект»

Москва – город с почти тысячелетней историей. Здесь на площади 2,5 тыс. км² проживает более 12,5 млн человек. Из них порядка 12 млн – на территории «старой Москвы» площадью около 0,9 тыс. км².

В настоящее время в Москве ведётся активное строительство новых и продление существующих линий метрополитена (рис. 1). С 2012 г. до 2020 г. планируется



Рис. 1. Схема развития Московского метрополитена до 2020 года

построить 154 км новых линий и 73 станции. Это позволит снизить нагрузку на действующую сеть метро, а также обеспечит «шаговую доступность» к станциям для 93 % населения Москвы.

Сейчас в рамках этой программы построено более 50 км линий и 20 станций. Строительные работы ведутся более чем на 300 строительных площадках. При этом задействовано 29 тоннелепроходческих комплексов диаметром 6 м для проходки однопутных тоннелей и 2 ТПМК диаметром 10 м для строительства двухпутных тоннелей. В строительстве метрополитена принимают участие около 35 тыс. специалистов различного профиля.

Строительство ведётся в условиях плотной городской застройки. В среднем на 1 пог. км линии строящегося метрополитена приходится порядка 17–20 существующих зданий и сооружений. Их не только нужно сохранить, но и обеспечить безопасное и комфортное нахождение в них людей во время строительства. С этой целью разработан и реализуется комплекс мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства (НТСС) [Конюхов, 2017], включающий:

1. На стадии проектно-изыскательских работ:
 - 1.1. Обеспечение полноты и достаточности результатов инженерных изысканий.
 - 1.2. Прогноз геотехнических рисков с учётом всех возможных видов воздействий.
 - 1.3. Учёт при проектировании современных конструктивных, технических и технологических решений строительства объектов метрополитена, применение эффективных и безопасных материалов, строительных машин и эксплуатационного оборудования.
 - 1.4. Прогноз влияния строительства на сложившуюся природно-техногенную среду.
 - 1.5. Обеспечение комплекса мероприятий по минимизации влияния строительства объектов метрополитена на сложившуюся природно-техногенную среду.
 - 1.6. Формирование комплекта специальных технических условий, стандартов предприятий и других нормативно-технических документов.
 - 1.7. Сертификация новых конструкций и материалов.
 - 1.8. Экспертно-консультативный анализ проектной документации с целью исключения рисков аварийных ситуаций, совершенствования конструктивных, объёмно-планировочных, технологических решений строительства.
 - 1.9. Составление программы работ по НТСС на стадии строительства.
2. На стадии строительства:
 - 2.1. Анализ результатов различных видов мониторинга и данных по контролю качества строительства.
 - 2.2. Инструментальное сопровождение мониторинга и контроля качества строительства с применением геофизических и других неразрушающих методов.
 - 2.3. Оценка пригодности к эксплуатации конструкций, изготовленных с отклонениями от проекта.
 - 2.4. Анализ причин и последствий (в том числе долговременных) аварийных ситуаций.

2.5. Принятие оперативных решений, разработка рекомендаций и технических мероприятий по устранению последствий аварийных ситуаций, а также негативных факторов, выявленных в процессе мониторинга и контроля качества, а также при отклонении от проектных решений.

2.6. Создание и пополнение информационной базы данных по результатам различных видов мониторинга и учёт этих данных при последующем проектировании.

2.7. Выполнение опытно-исследовательских работ.

3. Информационное обеспечение строительства.

В качестве примера рассмотрим результаты проходки перегонных тоннелей Кожуховской линии (КЖЛ) Московского метрополитена на глубине порядка 3 м ниже действующих тоннелей Таганско-Краснопресненской линии (ТКЛ) (рис. 2). Проходка велась ТПМК Herrenknecht на глубине примерно 14–19 м от поверхности, с установкой высокоточной сборной железобетонной водонепроницаемой обделки диаметром 6 м.

Строительство велось в Юго-Восточном административном округе г. Москвы, район Жулебино, на территории, расположенной между Московской кольцевой автодорогой, Лермонтовским проспектом и железной дорогой Казанского направления. Анализ материалов по историческому использованию территории показал, что в июне 2013 г. примерно в 500 м от рассматриваемого участка пересечения, при сооружении межтоннельной сбойки произошел вынос грунта в забой, что привело к деформации колец обделки на участке длиной около 160 м. Во время проведения работ по восстановлению обделки и цементации грунтов, начали развиваться процессы механической суффозии в основании левого перегонного тоннеля на участке длиной около 30 м, что привело к развитию деформаций обделки и образованию «клавиш» высотой до 178 мм. Было принято решение об откопке котлована, в пределах которого деформированные кольца обделки были демонтированы и заменены чугунными тубингами. На отдельных участках сохраненной сборной железобетонной обделки было выполнено её усиление фибронабрызг-бетоном по сетке.

В геоморфологическом отношении площадка строительства находится в пределах третьей надпойменной террасы р. Москвы, которая представляет собой аккумулятивно-эрозионную равнину, сложенную аллювиально-флювиогляциальными отложениями. Естественный рельеф техногенно изменен и спланирован существующей застройкой.

В геологическом строении участка до глубины 73,0 м принимают участие водонасыщенные песчаные и глинистые четвертичные отложения, подстилаемые верхне- и среднеюрскими глинами и известняками.

Проходка тоннелей КЖЛ велась под действующими тоннелями ТКЛ, построенными в 2013 г. Обделка выполнена из высокоточных железобетонных блоков диаметром 5,9 м. Обследование технического состояния тоннелей выявило следующие дефекты и повреждения в конструкциях обделки и путевом бетоне:

- участки намокания в стыках колец и блоков, а также в местах стыка обделки и путевого бетона;

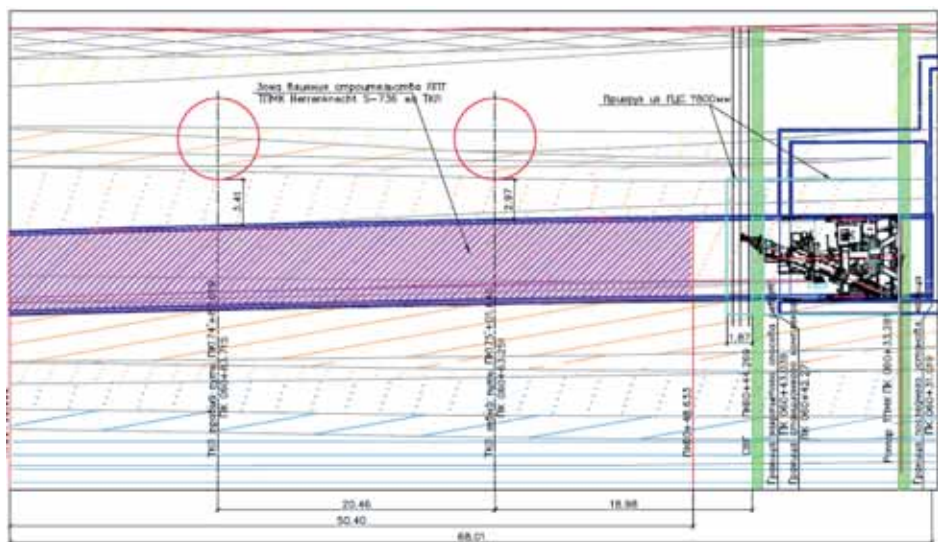
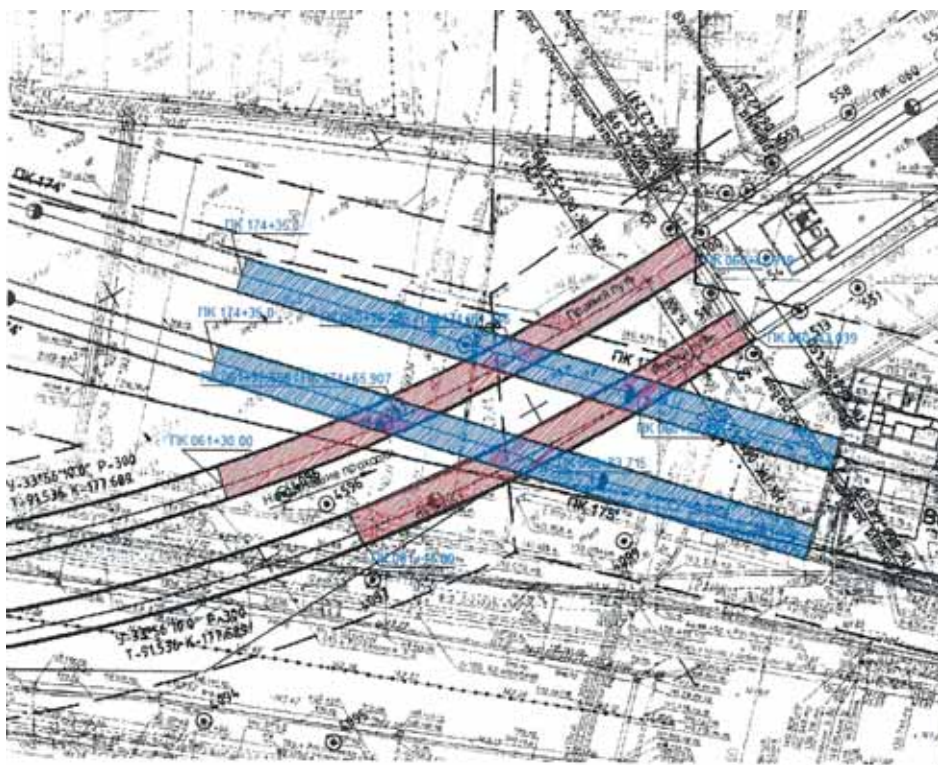


Рис. 2. Пересечение тоннелей КЖЛ и ТКЛ

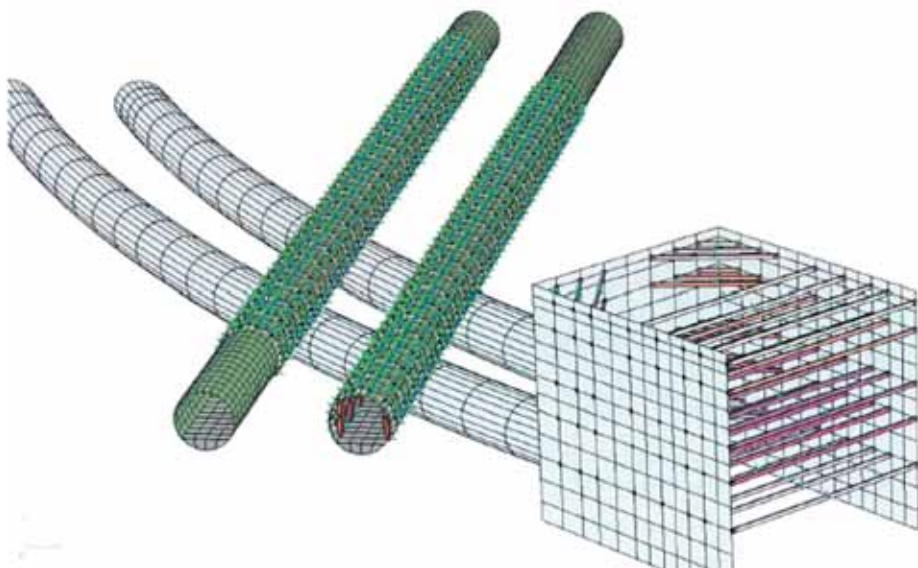


Рис. 3. Фрагмент расчётной схемы на момент окончания строительства

- поперечные (относительно оси тоннеля) трещины в путевом бетоне с шириной раскрытия до 2 мм, с фильтрацией воды по отдельным трещинам.

Геофизическое обследование состояния контакта «обделка – грунт» зон ослабленного контакта тоннелей не выявило.

Оценка влияния строительства на существующие тоннели проводилась методом конечных элементов с использованием программного комплекса Z_Soil 13.10 (рис. 3).

Конструкция сборной обделки моделировалась плоскими элементами оболочки с заданием фактических геометрических и физико-механических характеристик. Стыки между кольцами обделки моделировались с использованием нелинейных шарниров по методике Янсена (Janssen).

На рис. 4 и в табл. 1 приводятся расчётные значения дополнительных перемещений тоннелей ТКЛ после завершения строительства.

По результатам расчёта внутренних усилий в обделке действующих тоннелей, определены коэффициенты запаса по прочности, приведённые в табл. 2.

Как видно из табл. 1 и 2, проходка тоннелей КЖЛ на глубине около 3 м под действующими тоннелями ТКЛ незначительно влияет на несущую способность тоннельной обделки, однако приводит к возникновению деформаций тоннелей, которые превышают допустимые значения по условиям эксплуатации и могут повлиять на безопасность движения поездов.

Для минимизации возможных аварийных ситуаций при проходке был составлен реестр рисков по методике [Меркин, Зерцалов, Конюхов, 2013].

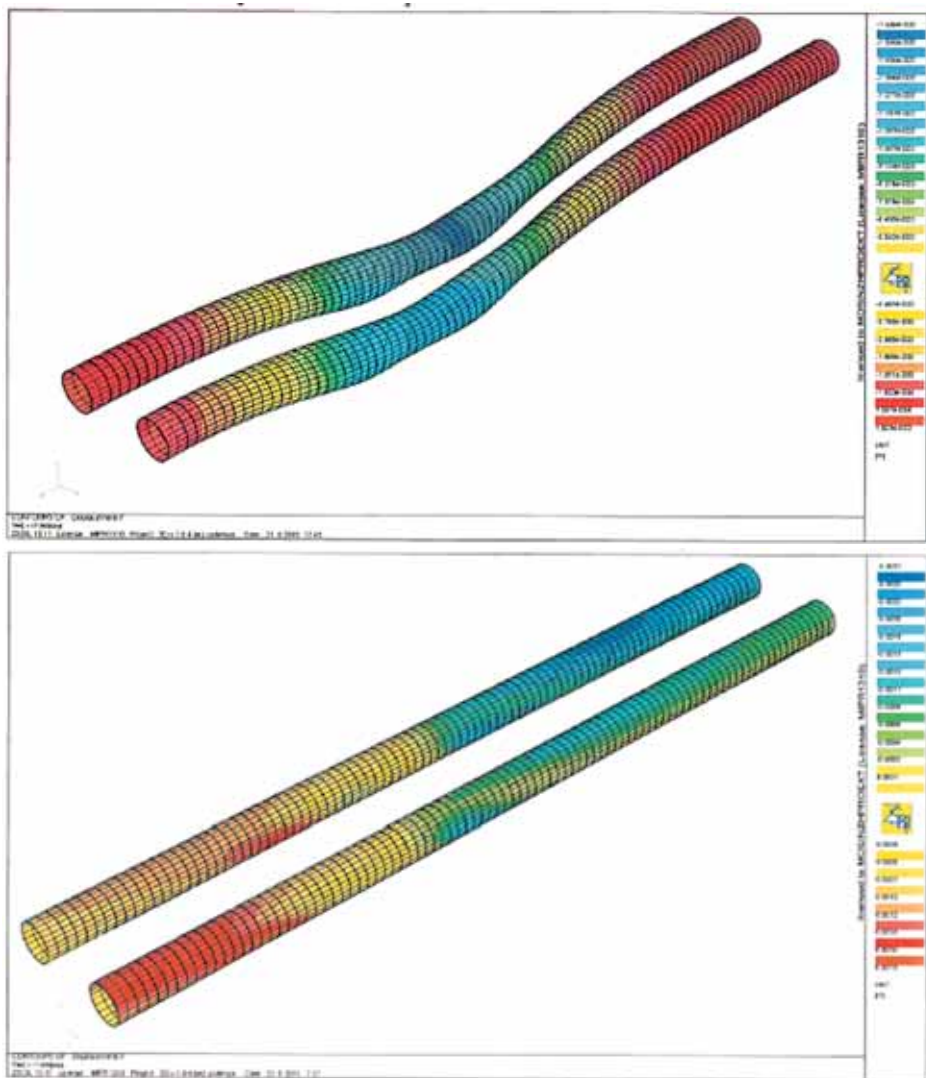


Рис. 4. Изополя вертикальных и горизонтальных перемещений тоннелей ТКЛ после завершения строительства тоннелей КЖЛ

В результате проведенного анализа, следующие риски были отнесены к «большим»:

- обнаружение затампонированных инженерно-геологических скважин;
- обнаружение валунов и/или неучтенных коммуникаций/элементов фундаментов, не выявленных при изысканиях;

Таблица 1

Максимальные расчётные значения дополнительных перемещений тоннелей ТКЛ на момент завершения проходки тоннелей КЖЛ

	Вертикальные, мм	Горизонтальные, мм
Левый тоннель ТКЛ	15,8	2,7
Правый тоннель ТКЛ	16,4	2,2

Таблица 2

Коэффициенты запаса по прочности обделки тоннелей ТКЛ

	До начала строительства	После завершения строительства
Левый тоннель ТКЛ	1,70	1,68
Правый тоннель ТКЛ	1,88	1,85

- обнаружение линзы водонасыщенного песка, не выявленной при изысканиях;
- поломка основных элементов ТПМК во время проходки под тоннелями ТКЛ – двигатель, гидравлическая система, износ резцов и т. д. из-за несвоевременного выполнения регламентных работ;
- несвоевременное/недостаточное заполнение тампонажным раствором строительного зазора между ТПМК и грунтом.

К «средним» были отнесены следующие риски:

- обводнение массива при прорыве водонесущих коммуникаций;
- суффозия основания тоннелей ТКЛ с образованием пустот под тоннелями ТКЛ;
- некачественное кондиционирование грунта;
- наличие протяженной зоны нарушенных грунтов в забое и кровле перед ТПМК, образовавшейся после проходки тоннелей ТКЛ, а также из-за вибрационных воздействий, в том числе поездов ТКЛ;
- нарушение диаграммы давления пригруза, баланса отбора грунта и продвига ТПМК.

Для минимизации геотехнических рисков были предложены и реализованы следующие мероприятия:

- остановка движения поездов метрополитена участка ТКЛ от станции «Выхино» до станции «Котельники» на период проходки;
- дополнительные геофизические исследования вмещающего массива;
- усиление действующих тоннелей ТКЛ металлическими рамами;
- разработка специального технологического регламента на проходку под тоннелями метрополитена;
- геотехнический мониторинг при проходке;
- контроль соблюдения требований технологического регламента.

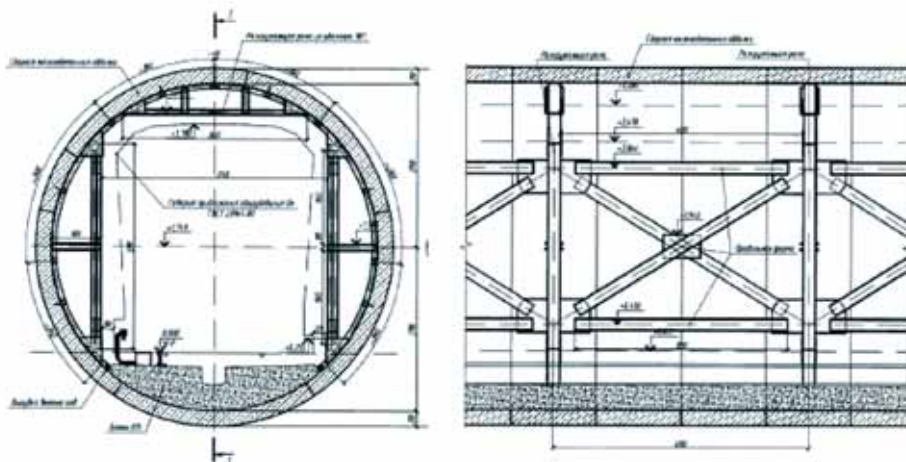


Рис. 5. Фрагмент проектного решения по установке разгружающих рам

До начала проходки в тоннелях ТКЛ были смонтированы разгружающие рамы (рис. 5), позволившие снизить вертикальные перемещения левого тоннеля ТКЛ в 6 раз, правого – в 7 раз (табл. 3), горизонтальные – до «нуля» и обеспечивающие сохранность и геометрическую неизменяемость конструкции действующих тоннелей.

До начала проходки дополнительно были выполнены геофизические изыскания методом электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования. Метод ЭМИ СШП зондирования сочетает в себе современные достижения в области генерации наносекундных импульсов напряжения большой мощности, в качественном излучении электромагнитной волны в подповерхностные структуры и в приеме широкополосных сигналов. Задачами геофизических исследований являлось уточнение инженерно-геологического строения участка пересечения, выделение нарушенных и обводненных геологических разностей, слагающих грунтовой массив. Точки размещения антенн измерительного комплекса располагались на

Таблица 3

Дополнительные перемещения тоннелей ТКЛ

	Вертикальные (осадки), мм		
	Расчётные	Замеренные	
		На момент выхода ТПМК из-под тоннеля	После стабилизации деформаций
Левый тоннель	2,6	2,3	2,9
Правый тоннель	2,3	6,5	4,6

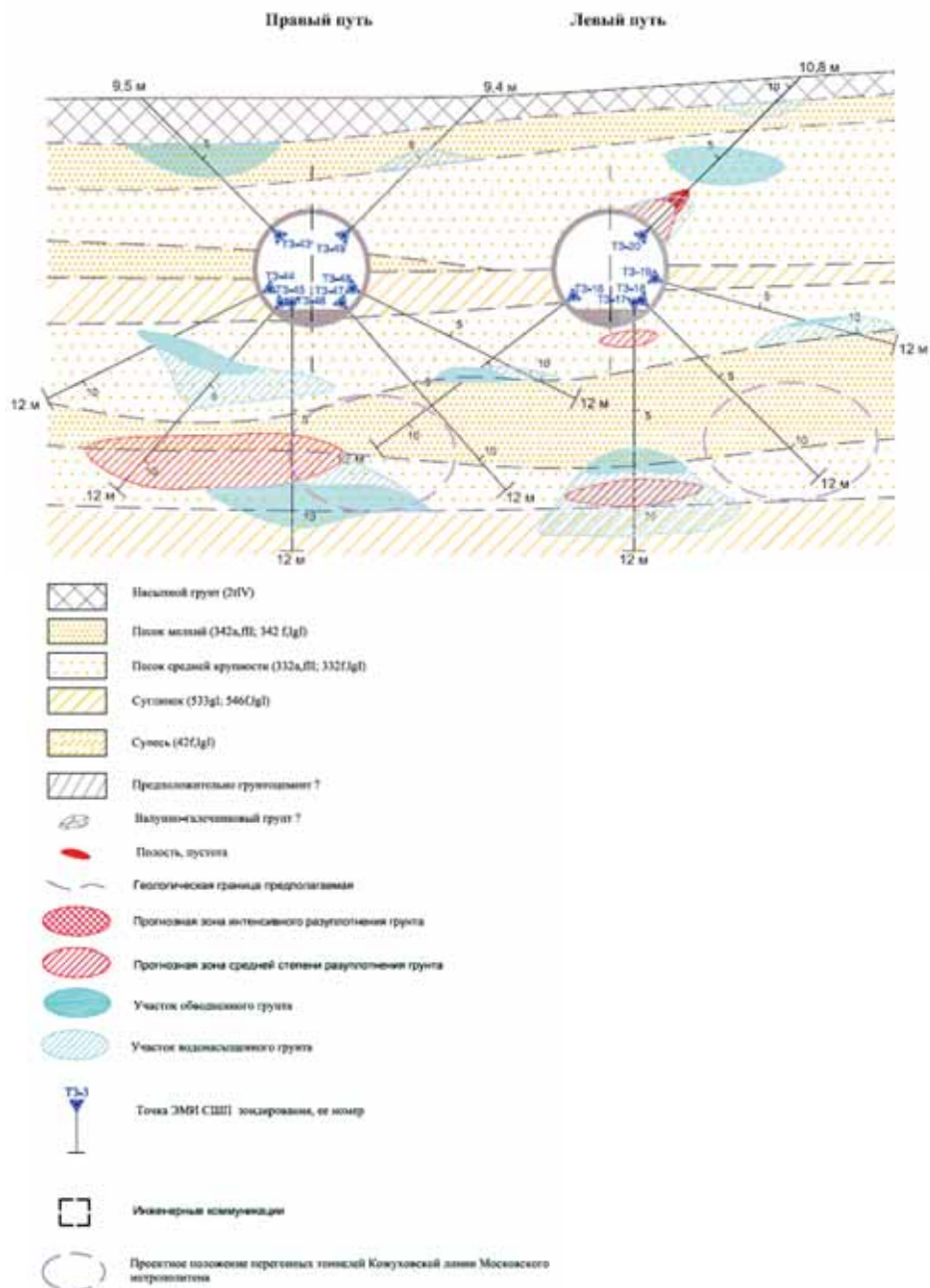


Рис. 6. Пример инженерно-геологического разреза по данным ЭМИ СШП зондирования до проходки

стенах, путевом бетоне, верхних и нижних полусводах существующих тоннелей. На каждом сечении было выполнено от 5 до 7 ЭМИ СШП измерений. В разрезах точек ЭМИ СШП зондирования были выделены интервалы нарушенных, обводненных и водонасыщенных грунтов, которые в последующем были отображены на поперечных разрезах (рис. 6).

В процессе проходки велся контроль состояния заобделочного пространства методом сейсмоакустического зондирования с помощью ударного возбуждения обделки. Наблюдения проводились ежедневно в процессе проходки, и затем был выполнен контрольный цикл измерений после условной стабилизации деформаций.

Результаты сейсмоакустического зондирования по циклам наблюдений приведены на рис. 7–10. Из приведённых графических материалов наглядно видно изменение состояния заобделочного пространства в процессе проходки.

Учитывая, что строящийся и действующие тоннели в основном располагаются в водонасыщенных песчаных грунтах, ослабленный контакт «обделка – грунт» может быть интерпретирован как сочетание выхода воздушных пузырей из призабойного пространства ТПКК и их подъём к поверхности под действием вибрации

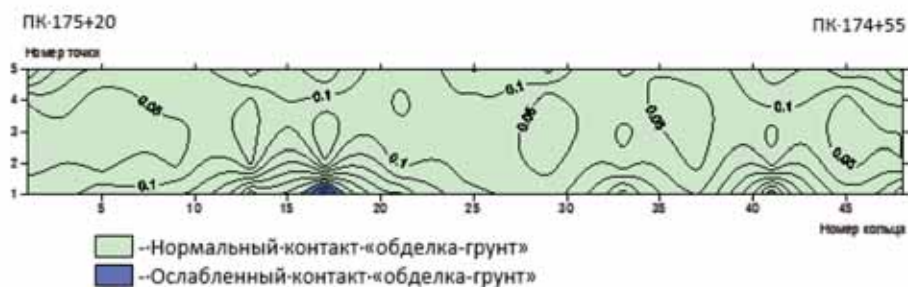


Рис. 7. Результаты сейсмоакустического обследования 1 пути 0 цикл (перед проходкой)

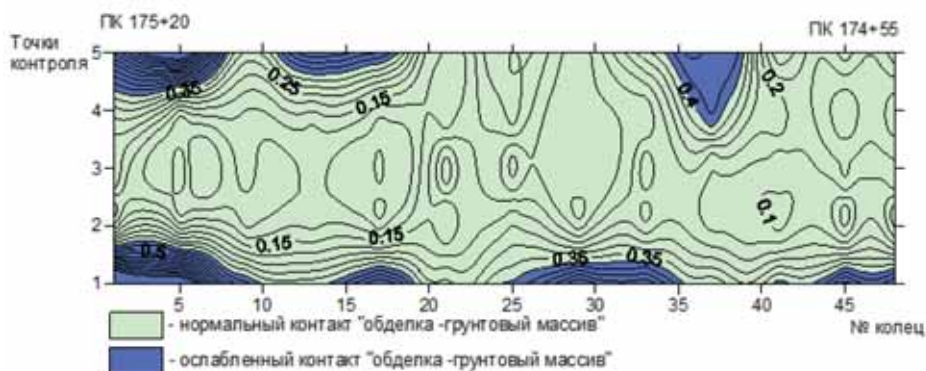


Рис. 8. Результаты сейсмоакустического обследования 1 пути, 1 цикл

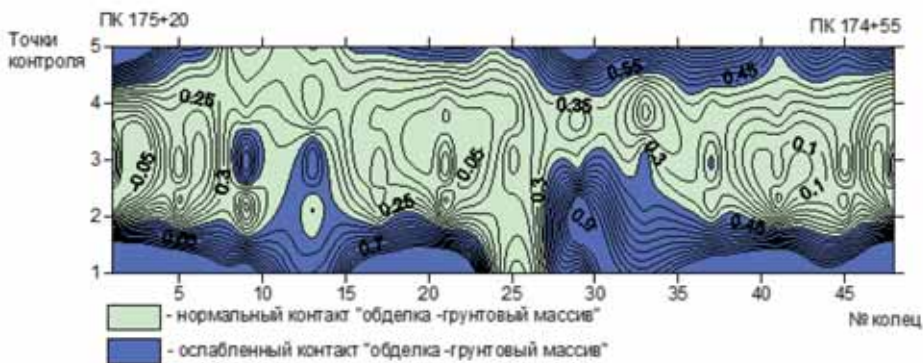


Рис. 9. Результаты сейсмоакустического обследования 1 пути, 2 цикл

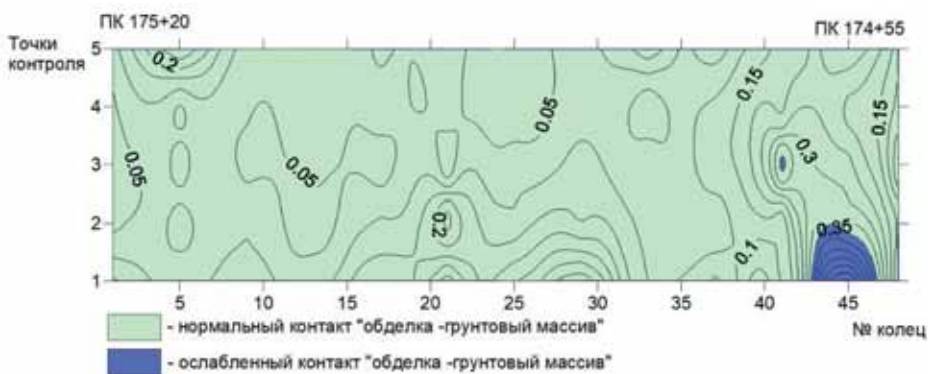


Рис. 10. Результаты сейсмоакустического обследования 1 пути, контрольный цикл

от работы механизмов ТПМК, с центростремительным перемещением водонасыщенной грунтовой массы при работе ротора ТПМК. После завершения проходки и стабилизации деформаций, состояние заобделочного пространства практически восстановилось.

После завершения проходки и стабилизации деформаций повторно были проведены исследования грунтового массива методом ЭМИ СШП. В результате исследований было установлено следующее (рис. 11):

- выявленные до начала строительства интервалы нарушенных, обводненных и водонасыщенных грунтов в основном остались без изменений;
- вблизи пройденного левого перегонного тоннеля КЖЛ образовались участки разуплотненных и водонасыщенных грунтов, что подтверждается данными сейсмоакустического зондирования;
- увеличилось число участков разуплотнённых грунтов после проходки;
- уменьшилась влажность грунтов.

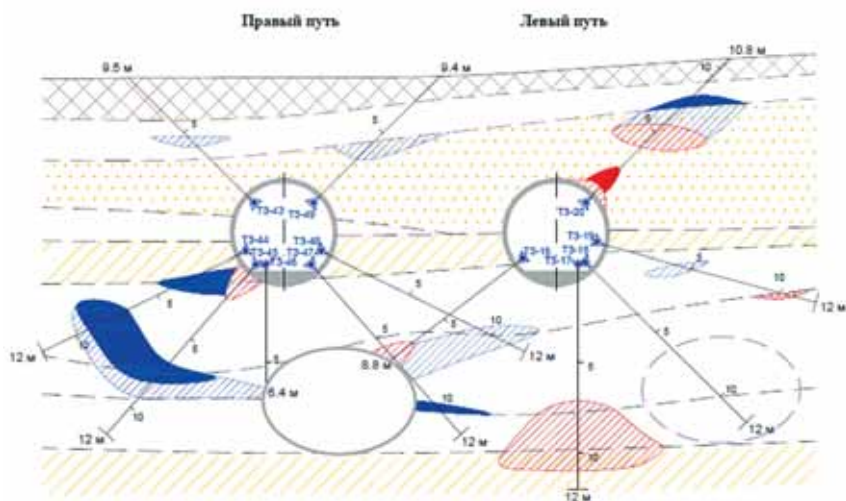


Рис. 11. Пример инженерно-геологического разреза по данным ЭМИ СШП зондирования после проходки

Для обеспечения безопасности строительства был разработан технологический регламент, предусматривающий указания, требования и рекомендации по щитовой проходке, касающиеся:

- режимов проходки, выполнения основных операций технологического цикла;
- диаграммы давления грунтового пригруза забоя по трассе тоннеля в шельге свода тоннеля и на уровне лотка тоннеля, а также предельные значения пригруза, обеспечивающие безопасность труда и сохранность зданий и сооружений в зоне влияния проходческих работ. Расчёт выполнялся по методике [СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011];
- состава растворов для пеногрунтового пригруза забоя;
- составов тампонажных растворов, их приготовления и нагнетания;
- допусков на ведение щита по оси тоннеля;
- мероприятий по предотвращению аварийной ситуации при проходке, включая:
 - контроль заполнения заобделочного пространства тампонажным раствором с использованием специального устройства в виде «гребенки», обеспечивающего возможность одновременного нагнетания не менее, чем в четыре отверстия в блоках;
 - требования по нагнетанию растворов на основе бентонита через отверстия в оболочке между передним и средним щитами;
 - компенсацию перебора грунта за счёт зазора между ротором и корпусом ТПМК путем нагнетания бентонитового раствора в защитное пространство головной части щита через 4 порта впрыска;
- требования к мероприятиям при технологической остановке ТПМК.

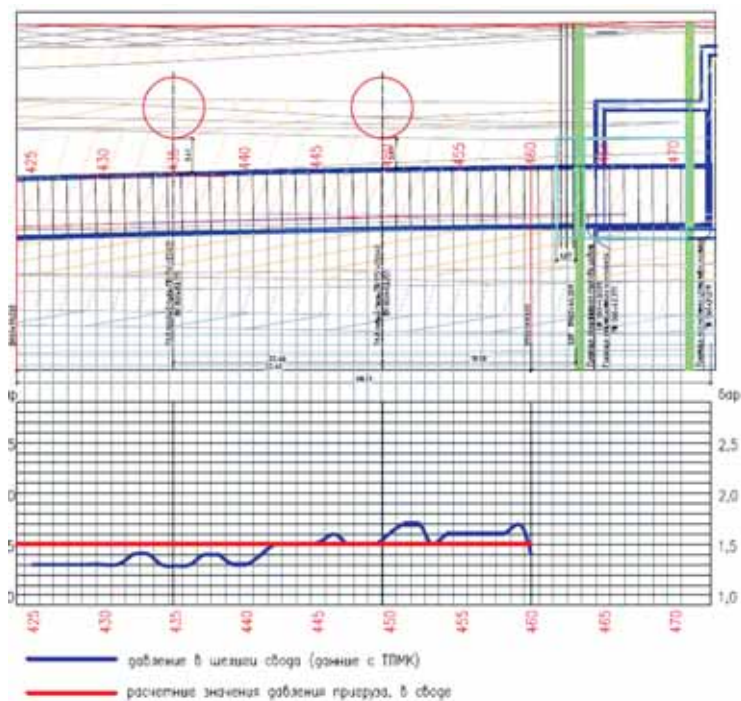


Рис. 12. Сопоставление расчётного и фактического давления пригруза забоя

В процессе строительства велся постоянный контроль за технологическими параметрами работы ТПМК, в первую очередь за соблюдением циклограммы проходки и диаграммы давления пригруза забоя. На рис. 12 приводится сопоставление расчётного и фактического давления пригруза забоя, из которого видно, что при проходке под правым перегонным тоннелем ТКЛ (I путь) фактическое давление пригруза было на 0,1–0,2 бар меньше расчётного, а при проходке под левым тоннелем (II путь) фактическое давление было на 0,2 бар выше расчётного, чем, по-видимому, и объясняется разница в величинах осадок действующих тоннелей. При этом, судя по диаграмме пригруза и характеру вертикальных перемещений, при подходе к левому перегонному тоннелю, давление пригруза было увеличено на 0,2 бар и произошёл подъём действующего тоннеля на 1,5–2 мм, а после схода обделки с хвостовой части оболочки ТПМК – осадка тоннеля примерно на 3,5–4,00, что в итоге привело к осадке левого перегонного тоннеля после выхода из-под него ТПМК в 2,3 мм.

На весь период строительства была организована система геотехнического мониторинга, включающая:

- визуально-инструментальный мониторинг технического состояния конструкций тоннелей с фиксацией дефектов и динамики их изменения (трещины, водопроявле-

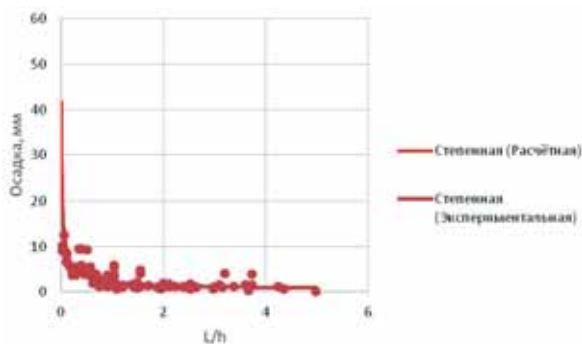


Рис. 13. Сопоставление прогнозных (по (1)) и экспериментальных данных

земной поверхности. Прогноз осадок поверхности выполнен по эмпирической формуле:

$$s = 2,2643(L/h)^{-0,651}, \quad (1)$$

где s – осадка поверхности, мм;

L – расстояние на горизонтальной плоскости от оси тоннеля до точки на поверхности по нормали к оси тоннеля, м;

h – глубина заложения оси тоннеля, м.

На рис. 13 приводится сопоставление расчётной и экспериментальной кривых $s = f(L/h)$, из которого видна практически полная сходимость прогнозных и экспериментальных данных.

В результате реализации мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства:

- максимальные стабилизированные осадки тоннелей ТКЛ составили: для правого тоннеля 4,6 мм, для левого – 2,9 мм;
- состояние грунтового массива и подземных вод практически не изменилось и стабилизировалось после завершения проходки;
- была обеспечена безопасная, практически безосадочная проходка тоннелей Кожуховской линии на глубине около 3 м под тоннелями Таганско-Краснопресненской линии Московского метрополитена.

Список литературы

1. Конюхов Д. С. Научно-техническое сопровождение строительства объектов метрополитена. Основные виды работ. – Метро и тоннели, № 3–4, 2017.
2. Меркин В. Е., Зерцалов М. Г., Конюхов Д. С. Управление геотехническими рисками в подземном строительстве. – Метро и тоннели, № 6, 2013. – с. 36–39.
3. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки.

ния и т.п.) с частотой 1 раз в сутки;

- автоматизированный геодезический мониторинг – автоматизированные геодезические наблюдения за плано-высотным положением тоннелей.

Результаты данных геодезического мониторинга приводятся в табл. 3.

Кроме контроля деформаций действующих тоннелей, во время проходки велись наблюдения за осадками

ЭЛЕКТРОДЕПО «СЛУЦКОЕ». ТРЕТЬЯ ЛИНИЯ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Э. И. Клок, ОАО «Минскметропроект»

На двух действующих линиях Минского метрополитена эксплуатируется два электродепо «Московское» и «Могилевское». На строящейся третьей линии метрополитена для обслуживания и ремонта подвижного состава линии проектируется электродепо «Слуцкое». Разработан и утвержден по результатам экспертизы «Архитектурный проект». «Строительный проект» находится в стадии разработки.

Основополагающими факторами для принятия планировочных решений участка строительства при разработке генерального плана явились:

- технические требования служб метрополитена при проектировании зданий сооружений, веера пути, технологических решений, учитывающих практический опыт эксплуатации действующих электродепо первой и второй линий;
- очертание сложной формы участка строительства ввиду стесненных условий городской промышленной застройки и плотной сети инженерных сетей;
- примыкание соединительной ветки 3-й линии Минского метрополитена с северной стороны площадки с дальнейшим развитием веера железнодорожных путей, входящими в здание ОРК.

В рамках проекта решены следующие задачи:

- обеспечено функциональное зонирование территории с учетом технологических связей, санитарно-гигиенических и противопожарных требований, грузооборота, автомобильного и железнодорожного транспорта, требований ТНПА;
- предусмотрена возможность перспективного развития электродепо;
- обеспечено наиболее интенсивное использование территорий выделенной под строительство с показателями плотности застройки – 43 % и коэффициентом использования территории – 55 % (перспективное развитие – 54 % и 62 % соответственно);
- сохранено пять действующих субъектов хозяйствования;
- организованы рациональные производственные, транспортные и инженерные связи.

Планирование участка произведено с учетом зонирования по функциональному использованию территории и включает в себя: две предзаводские зоны, зону основного производства, зону вспомогательного и обслуживающего производства.

Предзаводские зоны расположены с восточной и западной стороны территории электродепо и включают в себя: две проходные, две стоянки личного автомобильного транспорта на 24 и 36 машиномест, местный проезд и площадки для отдыха.

В основу композиционного решения по расположению и взаимоподчинённости зданий электродепо легло объединение разнофункциональных и разномасштабных зданий и сооружений в единый архитектурный объект (комплекс), который бы воспринимался как целостная, характерная для городских улиц застройка.

Восприятие с городских улиц проектируемого объекта практически невозможно по следующим причинам:

- расположение участка в структуре квартала и его существующая застройка;
- вертикально-планировочные решения территории – заглупление средней планировочной отметки территории предприятия с устройством подпорных стен, для возможности размещения всех технологических зон в выбранном участке для проектирования;
- рельеф прилегающей территории со сложившимся высотным расположением относительно городских магистралей.

Веер железнодорожных путей разделяет участок строительства на две условные зоны расположения производственных и вспомогательных зданий, сооружений.

1-я зона расположена в юго-западной, южной и северо-западной части территории и включает в себя производственные здания, представляющие собой комплекс сооружений, состоящих из сблокированных между собой отстойно-ремонтного корпуса с производственными мастерскими и административно-бытового корпуса, соединенного в свою очередь надземным пешеходным переходом с постом электрической централизации с парковым околотком и стрелочным постом, а также с проходной № 1.

2-я зона расположена в северо-восточной и северной части территории. В ней расположены основные складские площадки открытого типа (площадка для складирования элементов верхнего строения пути, сбора мусора и металлолома, снегоотвал).

Проектные решения, в части обслуживания и ремонта подвижного состава, принимались на основании опыта эксплуатации технологического оборудования действующих электродепо. Камера мойки расположена на одном из параллельных участков веера путей между порталом и отстойно-ремонтным корпусом, это позволяет без дополнительного маневра пройти мойку и сушку перед заходом поезда на отстой, обслуживание или ремонт. В камере мойки предусматривается установка оборотного водоснабжения с комплектными очистными сооружениями, позволяющего использовать воду в замкнутом цикле, без сброса в канализацию загрязненных стоков. Подпитка системы осуществляется в объемах капельного уноса воды составом по выходу из камеры мойки.

В цехе ремонта ТР-3 в процессе ремонта колесных пар традиционно применялся колесофрезерный станок КЖ-20 и станок для обточки колесных пар без выкатки. По предложению специалистов технологов ОАО «Минскметропроект» и в результате сотрудничества с заводом-производителем колесотокарных станков, для нужд электродепо «Слуцкое» предусматривается поставка универсального станка по обточке колесных пар как без выкатки, так и с выкаткой, что позволит сэкономить порядка 400 тыс. долларов США бюджетных средств.

Для очистки узлов подвагонного оборудования, в отличие от технологии применяемой на электродепо «Московское» и «Могилевское», проектом предусматривается применение промышленных пылесосов, как наиболее эффективных агрегатов

для достижения требуемой степени очистки оборудования, кроме того применение мобильных промышленных пылесосов позволяет производить очистку оборудования на любой из канав отстойно-ремонтного корпуса.

По результатам торгов, проведенных ГУП «Минский метрополитен», в качестве подвижного состава для третьей линии метрополитена закуплены составы производства ЗАО «Штадлер-Минск» с асинхронными тяговыми двигателями. Это вагон современного дизайна, с алюминиевым кузовом, с абсолютно сквозным пассажирским салоном и открытыми переходами, оборудован кондиционерами, установленными на крыше. Колесные пары в тележках установлены во внутренние буксы с коническими подшипниками, в отличие от номерных вагонов, имеющих наружные буксы. Тяговый двигатель представляет собой асинхронную машину трехфазного тока с короткозамкнутым ротором.

Непосредственная задача, над которой работают специалисты ОАО «Минскметропроект» в настоящий момент при разработке стадии «Строительный проект», – это совершенствование проектных решений и выбор технологического оборудования для нового подвижного состава.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО ЗАЩИТЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО МЕТРОПОЛИТЕНА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТА «ТРАНСПОРТНАЯ РАЗВЯЗКА НА ПЕРЕСЕЧЕНИИ ПР. НЕЗАВИСИМОСТИ С УЛ. ФИЛИМОНОВА»

В. А. Гращенко, ОАО «Минскметропроект»

В связи с возросшей автомобилизацией в г. Минске, для обеспечения необходимой пропускной способности транспорта на перекрестке пр. Независимости – ул. Филимонова на основании решения Мингорисполкома по заказу УП «Гордорстрой» в 2015 г. была разработана УП «Минскинжпроект» проектная документация на строительство объекта «Транспортная развязка на пересечении пр. Независимости с ул. Филимонова».

В транспортной системе города пр. Независимости и ул. Филимонова являются важнейшими вылетными магистралями города. В соответствии с генеральным планом города магистрали классифицируются: ул. Филимонова – магистраль общегородского значения А-6, пр. Независимости – магистраль общегородского значения А-8. Схема транспортной развязки комбинированная – «ромб» с элементами «клеверного листа». Проспект Независимости проходит в верхнем уровне с устройством двухпролетного путепровода (44 м), ул. Филимонова – в нижнем уровне. При этом путепровод располагается над эксплуатируемыми тоннелями и вентиляционной сбойкой метрополитена на перегоне между станциями «Московская» и «Восток» (рис. 1 и 2).



Рис. 1



Рис. 2

В разделе «Организация строительства» для строительства путепровода требуется срезка грунта на участке пересечения с улицей Филимонова длиной 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 от ПК 102+50,00 до 105+50,00 (рис. 3).

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 рельса. Деформации протекают продолжительный период времени при строительстве путепровода. Деформация обделки без защитных мероприятий могла привести к появлению течей по стыкам блоков, разуплотнению грунтового массива за обделкой и выносу грунта в тоннели, а также потере их несущей способности. Неравномерное изменение уровня головки рельса на участке сооружения путепровода могло привести к нарушению эксплуатационного и скоростного режима движения поездов в тоннелях.

В результате *засыпки грунта* (до 2 м) и загрузки нижележащего грунтового массива на участке сооружения транспортной развязки, возникают дополнительные деформации в обделке тоннелей и вентсбойке. Деформации протекают на протяжении всего периода строительства путепровода.

При этом несущая способность *тоннельной обделки* на участке засыпки, до уровня проектируемой вертикальной планировки транспортной развязки, обеспечена. На участке *вентсбойки* несущая способность не обеспечена, в соответствии с техническим заключением, том 1 «Оценка технического состояния несущих строительных конструкций тоннеля метрополитена на перегоне ст. «Московская» – ст. «Восток».

Объект № 2014-04/05», выполненным ОДО «ИнтеСтройПроект» в 2014 г. Согласно п. 4.2.14 над конструкцией вентсбойки *не допускалось увеличение нагрузок на существующие плиты покрытия*, следовательно засыпка над сооружением была возможна только после проведения защитных мероприятий.

В связи с вышеизложенным в составе проекта были предусмотрены мероприятия по защите сооружений действующего метрополитена, разработанные ОАО «Минскметрострой» по заданию УП «Минскийжпроект».

Сведения о площадке строительства

Работы по защите тоннелей действующего метрополитена велись на стройплощадке, предусмотренной для сооружения транспортной развязки с предварительным устройством объезда и выносом существующих инженерных сетей из зоны работ по проекту УП «Минскийжпроект».

Движение поездов метрополитена по тоннелям на участке выполнения защитных мероприятий осуществляется с 1987 г.

Глубина залегания тоннелей составляет 6,5–12,0 м от уровня существующей поверхности до верха конструкций.

Инженерно-геологические условия строительства

В геологическом строении площадки имеются грунты различных генетических типов и литологического состава (рис. 4).

Техногенные (искусственные) образования вскрыты повсеместно с поверхности. Представлены отвалами насыпных грунтов, состоящими из песков различной крупности с галькой, валунами, на отдельных участках глинистых, с включениями бытового строительного мусора, обломков кирпича, стекла. Давность отсыпки более пяти лет. Мощность 0,5–5,0 м.

Флювиогляциальные отложения. Распространены повсеместно под насыпными грунтами. Представлены преимущественно песками гравелистыми и крупными, реже средними и гравийным грунтом с заполнителем из крупного песка. Мощность флювиогляциальных отложений до 4,0 м.

Моренные отложения распространены повсеместно с глубины 3,0–8,1 м под флювиогляциальными отложениями. Представлены супесями, как правило, красноватого цвета с включением гравия, гальки, валунов.

Существующие тоннели метрополитена на участке проектирования залегают преимущественно в супесях, местами в песках различной крупности.

Гидрогеологические условия характеризуются наличием верховодки, грунтовых вод и вод спорадического распространения.

Верховодка развита в песчаных грунтах на кровле моренных супесей. Сформирована, в основном, за счет техногенных утечек из водонесущих коммуникаций и за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Напорные воды расположены ниже водоупорного слоя (супеси) в песках пылеватых прочных. Пьезометрический уровень воды установился на отн. 202,10–202,95 м.

Существующие тоннели метрополитена на участке проектирования залегают преимущественно в супесях.

Конструктивные решения сооружений метрополитена и защитных мероприятий

Обделка существующих перегонных тоннелей метрополитена на участке строительства транспортной развязки представлена в виде сборных железобетонных тюбингов без связей растяжения ПК103+53,57 – ПК103+82,57, ПК104+52,64 – ПК105+45,22, и участков с чугунной обделкой ПК103+82,57 – ПК104+28,40, ПК104+51,9 – ПК104+52,64. Чугунная обделка была предусмотрена при строительстве метрополитена для устройства развязки на перспективу.

Участок тоннелей ПК104+28,40 – ПК104+51,90 (вентиляционная сбойка) представлен в виде сборных железобетонных конструкций прямоугольного очертания.

В качестве защитных мероприятий предусмотрено следующее:

- на участке с чугунной обделкой тоннеля (45 м), с учетом этапности разработки грунта до проектного уровня – выполнение поэтапного устройства монолитной железобетонной плиты толщиной 500 мм по рядам из буронабивных свай диаметром 630 мм с шагом 1650 мм, расположенных вдоль тоннельной обделки;
- на участке вентсбойки (25 м) – предусмотрено устройство разгрузочной монолитной железобетонной плиты толщиной 700–1800 мм, между рядами из буронабивных свай диаметром 800 мм с шагом 1800 мм.

Результаты расчетов деформаций грунтового массива и перемещений тоннелей

Для оценки влияния на грунтовый массив и обделку существующих перегонных тоннелей метрополитена при срезке грунта для строительства транспортной развязки использовался программный комплекс для геотехнических расчетов Midas GTS NX. Рассчитывалось напряженно-деформированное состояние системы грунт – сооружение методом конечных элементов в условиях трехмерной задачи.

В расчетной схеме модель составлена с учетом поэтапной разработки грунта с уровня существующей поверхности в зоне действующей линии метрополитена, а также оценкой возможного поднятия дна котлована и соответственно тоннелей, вызванного упругими деформациями при разгрузке залегающих ниже грунтов.

При срезке грунта (разгрузке грунтового массива) без выполнения защитных мероприятий в результате расчетов получены недопустимые для безопасной эксплуатации тоннелей поднятия уровня головки рельса и обделки (30–35 мм), (рис. 5). Данный участок тоннелей представлен обделкой из чугунных тюбингов со связями растяжения в стыках.

Результаты расчета при срезке грунта на глубину 7,5 м для ПК103+80,00 – ПК104+25,00

Данный участок тоннелей представлен в виде обделки из чугунных тюбингов. При отсутствии защитных мероприятий обделка подвергается неравномерным перемещениям.

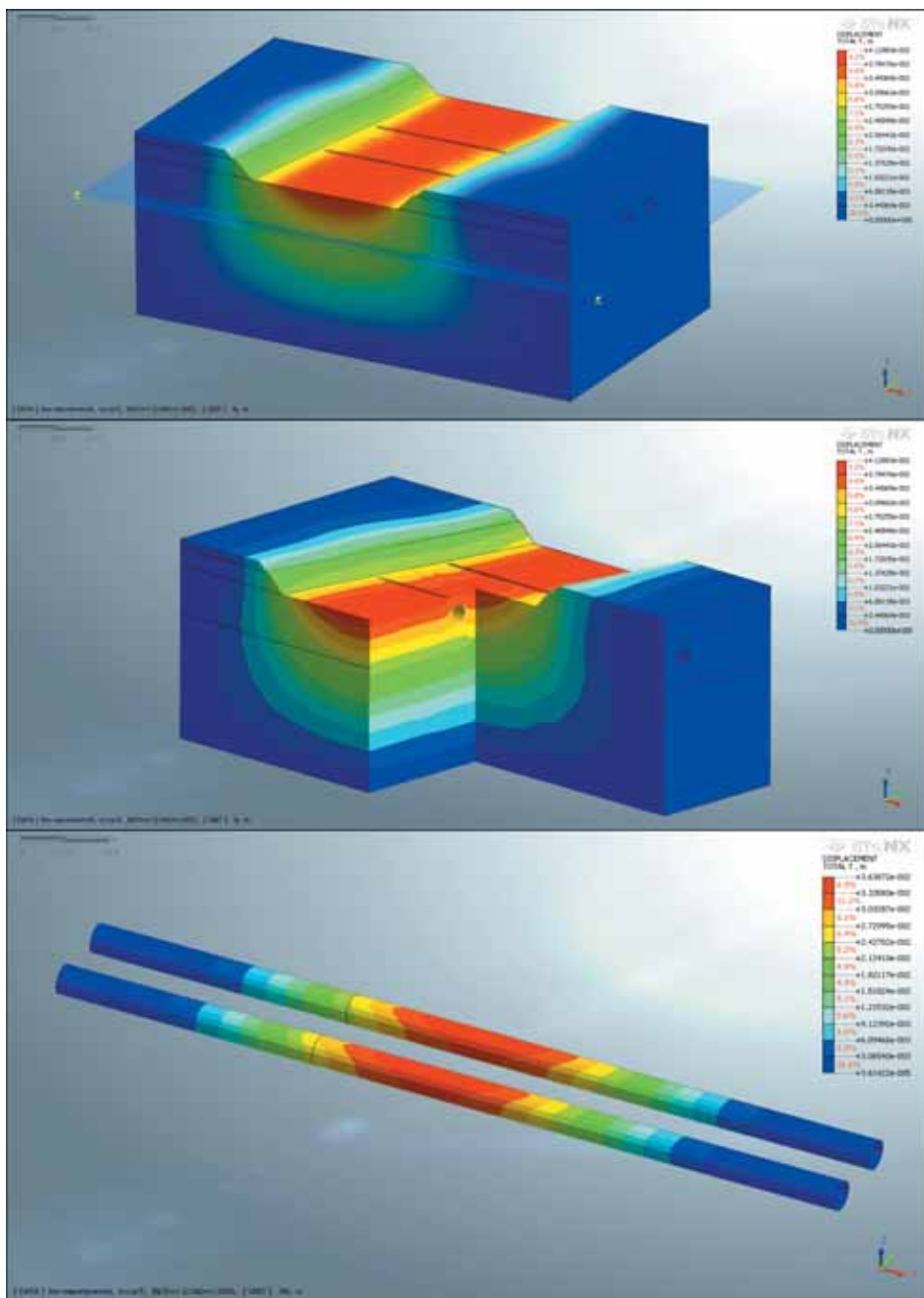


Рис. 5

Для обеспечения безопасной эксплуатации метрополитена разработаны мероприятия по защите тоннелей. При создании расчетной схемы учтены мероприятия по предупреждению опасных неравномерных деформаций обделки тоннелей путем стабилизации окружающего массива грунта для обеспечения равномерности в поднятии по всему периметру обделки с сохранением эксплуатационного габарита и уменьшением величины поднятия уровня головки рельса.

С учетом проведения защитных мероприятий по бортам тоннелей в виде рядов из буронабивных свай диаметром 630 мм с шагом 1650 мм (рис. 6), с учетом этапности разработки грунта до проектного уровня (рис. 7), с устройством монолитной железобетонной плиты толщиной 500 мм напряжения в грунтовом массиве стабилизируются и поднятие тоннелей происходит равномерно на величину 24–26 мм (рис. 8). Этим обеспечивается сохранность геометрической формы чугунной обделки тоннелей.

Конструкция верхнего строения пути в тоннелях на участке проектирования позволяет выполнить коррекцию уровня головки рельса в пределах 25 мм и вернуть его в проектное положение после проведения защитных мероприятий, обеспечив дальнейшую безопасную эксплуатацию метрополитена.

При последующем возведении дорожной одежды по монолитной плите над чугунной обделкой тоннеля увеличится масса пригруза и общее поднятие уменьшится.

Результаты расчета при засыпке грунта на высоту 2,0 м для ПК104+28,00 – ПК104+52,00 (участок вентиляционной сбойки)

Конструкция вентиляционной сбойки, сооруженная открытым способом из сборных железобетонных элементов, рассчитана на действие нагрузки от веса обратной засыпки и транспорта в существующих отметках 215,3–2015,5 м.

Без защитных мероприятий, при обратной засыпке на высоту 2,0 м (отм. 217,5 м) конструкции вентсбойки, получены недопустимые для безопасной эксплуатации перемещения и напряжения в конструкциях.

Для обеспечения безопасной эксплуатации метрополитена разработаны следующие мероприятия по защите вентиляционной сбойки: по бортам сбойки между рядами из буронабивных свай диаметром 800 мм с шагом 1800 мм предусмотрено устройство разгрузочной монолитной железобетонной плиты толщиной 700–1800 мм (верх плиты на отм. 215,3).

На основании выполненных расчетов для минимизации воздействия на действующие тоннели метрополитена при сооружении и последующей эксплуатации транспортной развязки назначены необходимые защитные мероприятия.

Общая организация строительства

Перед началом работ по устройству защитных мероприятий для связи со строительной площадкой выполнено подключение телефона в обоих тоннелях на участке вентсбойки по комплекту 2014.18-СС1 проектной документации.

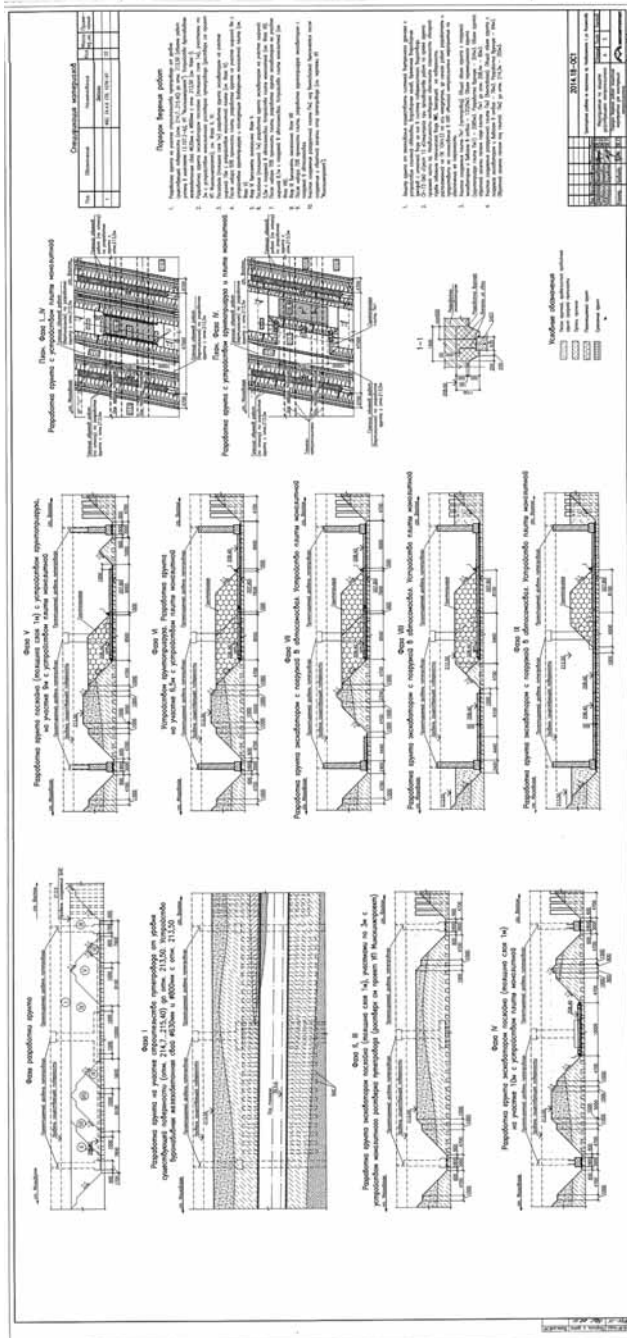


Рис. 7

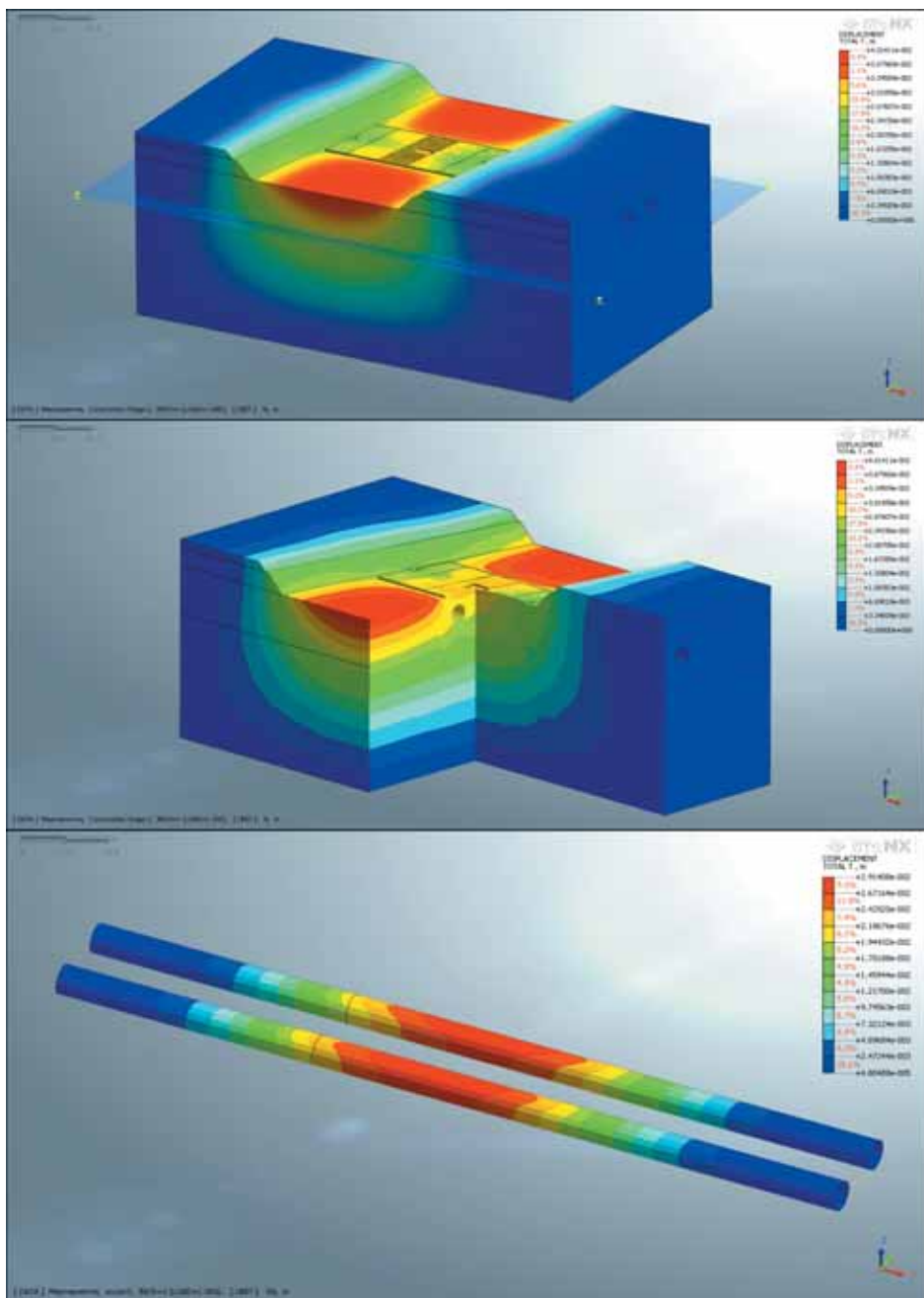


Рис. 8

Выполнена установка геодезических марок на обделке в обоих тоннелях согласно «Проекту производства подземного геодезического контроля за деформациями тоннельной обделки действующего Минского метрополитена на участке строительства транспортной развязки на пересечении пр. Независимости с ул. Филимонова (с изменениями) УП «Геосервис» 2015 г. Произведена съемка геодезических марок с целью привязки их положения для фиксации начала отсчета перемещений.

Работы по устройству буронабивных свай велись с отметки на 1,5–1,8 м ниже существующей поверхности стройплощадки для сооружения транспортной развязки (проект УП «Минскинжпроект»).

Мероприятия по защите действующих тоннелей метрополитена предусматривали следующую последовательность работ (табл. 1):

- бурение буронабивных свай диаметром 630 мм по бортам тоннелей на участке между опорами путепровода;
 - бурение буронабивных свай диаметром 800 мм на участке вентсбойки;
 - поэтапную послойную разработку грунта с последующим поэтапным возведением монолитной плиты;
 - бурение буронабивных свай для опор путепровода;
 - устройство фундаментов опор путепровода;
 - устройство монолитной железобетонной плиты на участке вентсбойки.
- Посадка свай на местность была привязана к осям тоннелей.

Продолжительность строительства и основные технико-экономические показатели (табл. 2)

Таблица 1

Ведомость объемов основных строительных, монтажных и специальных строительных работ

Наименование	Всего по строительству	1 год строительства	
		I	II
Разработка грунта*, тыс. м ³	13,6	9,5	4,1
Монтаж и демонтаж дорожных плит (3-кр. оборачиваемость), шт.	88	88	–
Обратная засыпка, тыс. м ³	0,6	0,2	0,4
Бурение БНС, км	2,7	2,7	–
Армирование свай БНС, т	65	65	–
Бетонирование свай БНС, тыс. м ³	0,82	0,82	–
Минеральные плиты, тыс. м ³	0,1	–	0,1
Бетонная подготовка, тыс. м ³	0,17	0,08	0,09
Бетонирование плиты, тыс. м ³	1,18	0,41	0,77
Армирование плиты, т	99	40	59

Таблица 2

Основные технико-экономические показатели

Продолжительность строительства, мес.	5,0
Максимальная численность работающих, чел.	35
Стоимость строительства в текущих ценах (на 01.06.2014 г.), тыс. руб.	10996601
в том числе СМР, тыс. руб.	10996288

В связи с тем, что ТКП 45-1.03-122-2008 «Нормы продолжительности строительства предприятий, зданий и сооружений» и СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» не содержат прямой нормы продолжительности строительства для мероприятий по защите метрополитена, продолжительность строительства определена графиком строительства (рис. 9) с учетом производительности буровой техники, выполнения директивных сроков строительства транспортной развязки, а также с учетом действующего метрополитена, и составила для участка защитных мероприятий между опорами путепровода 3,5 месяца, а для участка защитных мероприятий над венткамерой – 1,5мес.

Устройство буронабивных свай

Для обеспечения высокого уровня производительности и качества производимых работ использовалась буровая установка типа Casagrande B125в комплекте с инвентарной обсадной трубой (рис. 10). Буронабивные сваи выполнялись в шахматном порядке через две сваи. Работы по устройству буронабивных свай производились вращательным бурением с задавливанием (вкручиванием) инвентарной обсадной трубы и вращательным бурением скважины шнеком до проектной глубины. Задавливание буровой установкой обсадной трубы выполнялось одновременно с бурением скважины с отставанием шнека от нижней части обсадной трубы. В скважину, закрепленную обсадной трубой, при помощи крана опускался арматурный каркас. Методом ВПТ производилось бетонирование сваи с извлечением инвентарной обсадной трубы буровой установкой.

При этом было исключено ударное и вибрационное воздействие на грунтовый массив окружающий тоннели.

Геодезическо-маркшейдерские работы

Для геодезического обеспечения строительства в соответствии с ТКП 45-1.03-26-2006 и Инструкции ВСН-160-69 предусмотрены следующие геодезические работы, обеспечивающие все разбивочные работы при устройстве защитных мероприятий:

- триангуляция II разряда;
- основная наземная полигонометрия точности 1:35000;
- нивелирование II и III классов;
- привязка скважин.

Мониторинг

Мониторинг предусматривал непрерывный контроль в натуральных условиях за деформациями и усилиями в несущих конструкциях метрополитена и проверки соответствия их расчетным значениям, обеспечивающих безаварийную работу конструкций и включал в себя:

- *Геодезический надземный мониторинг*

Геодезическое наблюдение за состоянием смещения поверхности, буронабивных свай 630 мм № 1, 14, 26, 27, 38, 48, 49, 60, 70, 71, 83, 96 с сохраняемыми монтажными петлями и монолитной плиты выполнялось силами строительной организации ведущей производство работ еженедельно, с заполнением журнала и предоставлением отчета.

- *Геодезический подземный мониторинг*

Геодезическое наблюдение за состоянием существующих конструкций тоннелей, выполнялось согласно «Проекту производства подземного геодезического контроля за деформациями тоннельной обделки действующего Минского метрополитена на участке строительства транспортной развязки на пересечении пр. Независимости с ул. Филимонова УП «Геосервис» 2015 г.

УП «Геосервис» были установлены контрольные марки на тоннельной обделке на участке производства работ, выполнены первичные замеры до начала строительства по этим маркам (в качестве исходных данных). Геосервис, осуществляющий геодезическо-маркшейдерский мониторинг, выполнял каждую ночь наблюдение и контроль пространственного положения конструкций метрополитена в зоне строительства при устройстве опытных буронабивных свай с занесением результатов в специальный журнал. После устройства буронабивных свай, проведения замеров в процессе строительно-монтажных работ велось с еженедельной периодичностью, с заполнением журнала и предоставлением отчета. Отчеты о результатах замеров предоставлялись в КУП «Минский метрополитен», ОАО «Минскметропроект», УП «Минскинжпроект, ОАО «Трест 15 «Спецстрой».

- *Визуальный мониторинг*

I этап – осмотр конструкций до начала строительства с видеофиксацией.

II этап – в процессе строительства при сооружении пробных свай в «окно» ежедневный контроль, затем при дневном устройстве буронабивных свай и монолитной железобетонной плиты еженедельный контроль. Фотофиксация и анализ повреждений.

III этап – после окончания строительства осмотр один раз в три месяца с анализом имеющихся дефектов.

- *Инструментальный мониторинг состояния конструкций*

I этап – проводился до начала строительства ОДО «ИнтеСтройПроект».

II этап – в процессе строительства анализ возникших дефектов (трещины в некоторых стыках тоннельной обделки).

III этап – после окончания строительства контроль за состоянием конструкций.

- *Электронный дистанционный мониторинг*

Изм. №	Подпись и дата	Взам. инв. №

Изм.	Коп.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата

2014.18-1-Т33

Лист
5

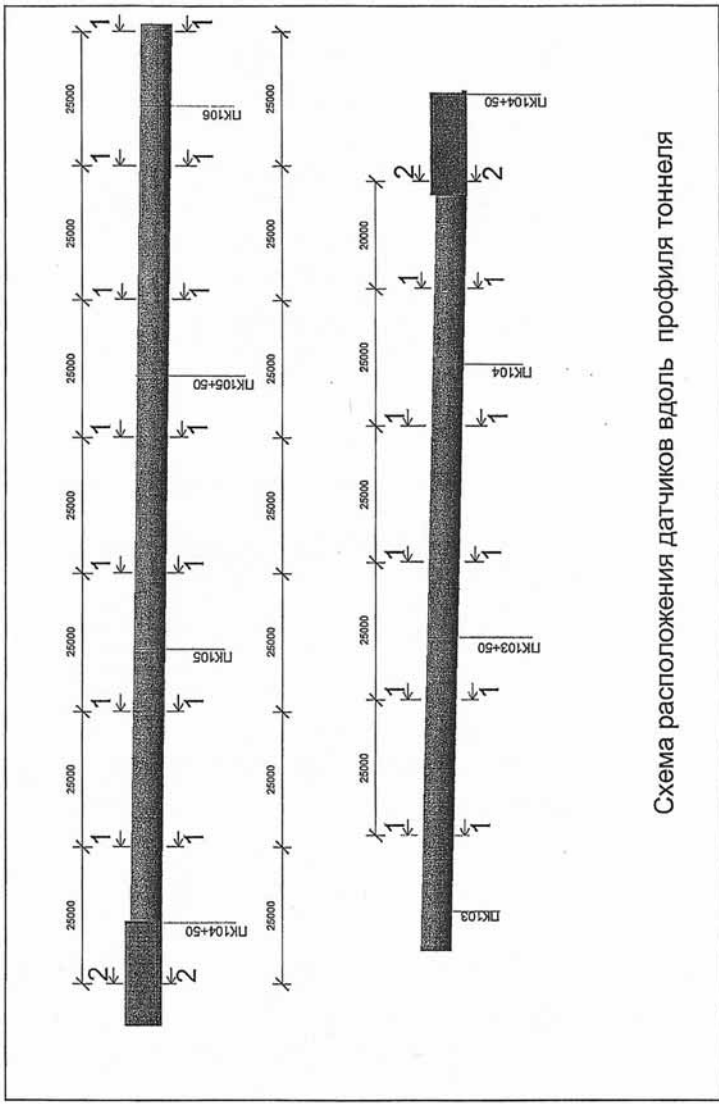
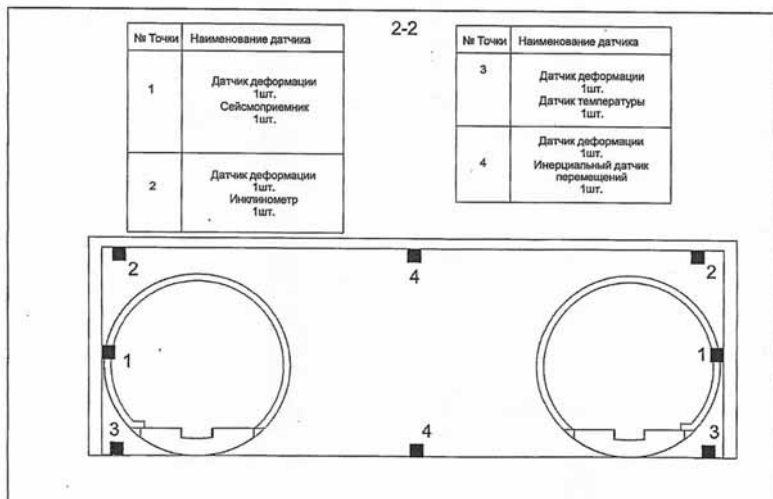
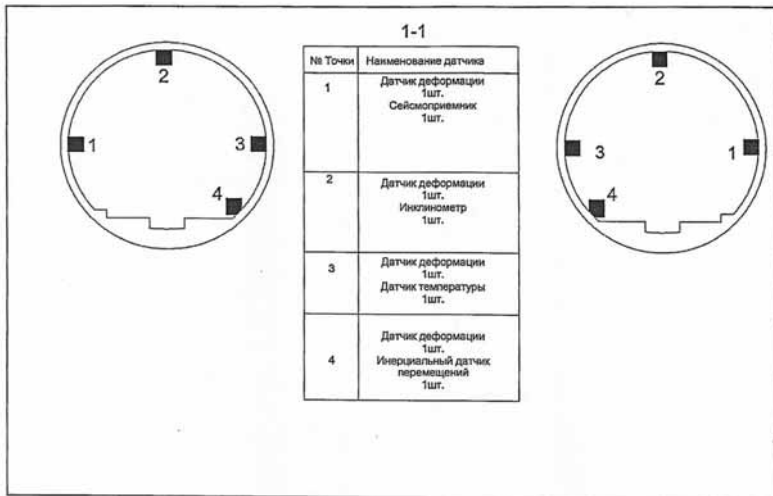


Схема расположения датчиков вдоль профиля тоннеля



Изм. № _____
 Подпись и дата _____
 Взам. инв. № _____

Изм.	Копуч	Лист	№ док	Подпись	Дата

2014.18-1-Т33

Лист
6

Рис. 12

Работы по мониторингу проводились согласно программе БНТУ по теме: «Система мониторинга напряженно-деформированного состояния несущих конструкций перегонных тоннелей линии метрополитена при строительстве транспортной развязки на пересечении пр. Независимости с ул. Филимонова» 2015 г.

I этап - до начала строительства был разработан проект электронного дистанционного мониторинга с расстановкой на конструкциях тоннелей тензорезисторных датчиков линейного расширения, электронных акселерометров (вибродатчики), датчиков температуры и инклинометров (рис. 11 и 12).

II этап – в процессе строительства – подключение и передача данных на автоматизированное рабочее место оператора.

III этап – после окончания строительства проведение циклов наблюдений для оценки стабилизации деформаций.

• *Научное сопровождение по мониторингу*

Специалисты БНТУ осуществляли постоянное наблюдение за напряженно-деформационным состоянием несущих конструкций перегонных тоннелей линии метрополитена. Анализ напряженно-деформационного состояния обделки тоннеля осуществлялся в режиме реального времени с учетом выполняемых на поверхности работ. Работы по сооружению пробных буронабивных свай диаметром 630 мм № 1, 14, 26, 27, 39, 48, 49, 61, 70, 71, 84, 96 и буронабивных свай диаметром 800 мм № 2*, 11*, 15*, 16*, 21*, 26*, 27*, 32*, 34*, 43* проводились в «окно», при отсутствии движения поездов. Для сокращения сроков строительства, с учетом анализа имеющихся данных было принято решение о дальнейшем устройстве буронабивных свай и в дневное время.

При производстве работ наблюдалось небольшое нарастание напряженного состояния обделки тоннелей. Имелось два случая срочной остановки производства работ в дневное время:

- с одного датчика пришла информация о запредельных напряжениях, при проверке оказалось, что было нарушено его крепление;
- сбой передачи данных, так как возникли технические проблемы с устройством, передающим информацию (открепилась передающая антенна).

Согласно анализу специалистов Белорусского Научно-технического Университета (БНТУ) и ОАО «Минскметропроект» за весь период наблюдений деформации не превысили расчетных показателей.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА С ПРИМЕНЕНИЕМ BIM-ТЕХНОЛОГИИ

В. И. Штанюк, ОАО «Минскметропроект»

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 сотрудников, желающих принять участие в данном проекте, проведено обучение с представителями Autodesk в Минске. Был пройден базовый курс в 40 часов, после чего последовало выполнение пилотного проекта. Для пилотного проекта была выбрана запроектированная ранее венткамера на 3-й 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.

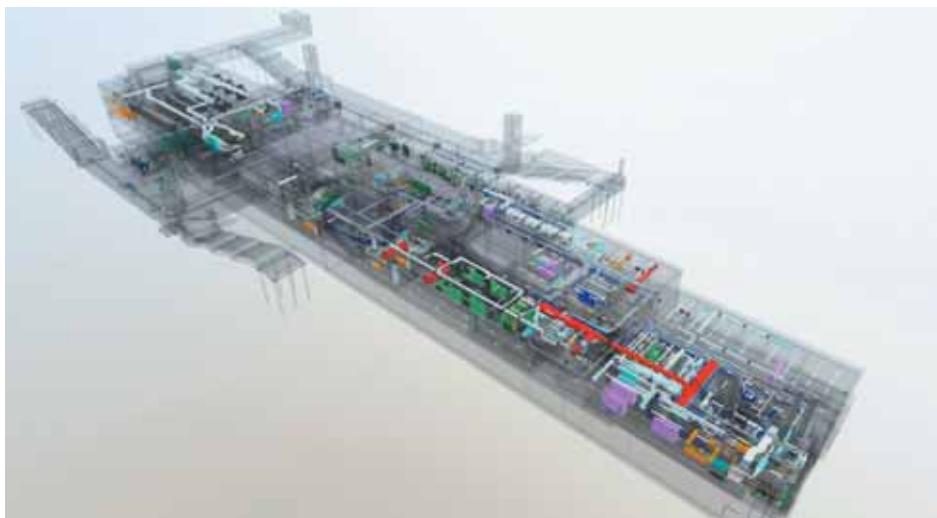
В ходе работы над пилотным проектом были отработаны разделы:

- архитектура,
- конструктивные решения;
- отопление и вентиляция;
- организация строительства.

Следующим этапом внедрения технологии BIM стало проектирование станции «Лошицкая» строящейся 3-й линии Минского метрополитена. В отличие от пилотного проекта, выполненного по готовой рабочей документации, проектирование станции «Лошицкая» начато «с нуля».

Станция «Лошицкая» была запроектирована с учетом принятой генеральной схемы Минского метрополитена. Располагается на 3-й 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.

Целью создания BIM-модели были: повышение автоматизации проектирования, отработка системы взаимодействия между отделами, выдача и получение заданий специалистами, координация проекта в части прокладки коммуникаций, исключение ошибок, допускаемых при ручном подсчете материалов, и в конечном итоге выпуск качественной рабочей документации.



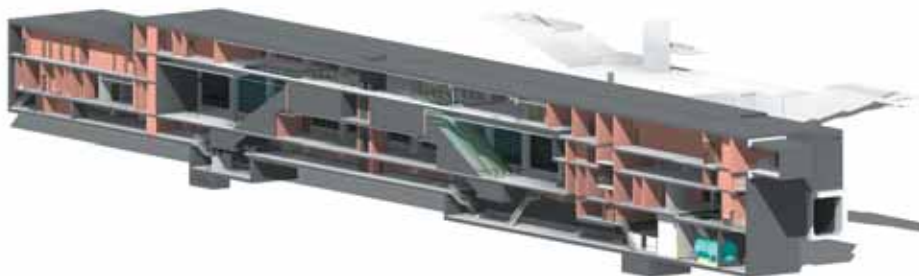
Координационная модель

Правильным организационным решением была разработка Плана выполнения BIM-проекта (ВЕР), где были сформулированы основные требования к модели, степень детализации, планируемый объем разработки семейств и многое другое. Существенную помощь оказала компания ПСС (Петростройсистема), предложившая такую схему работы.

Исходной информацией для проектирования выступают чертежи трассы и геоподосновы, выполненные в AutoCAD, подгружаемые внешними ссылками. Так как станционный комплекс является сложным и обширным сооружением, для увеличения производительности компьютерной техники, было принято решение вести проектирование каждого раздела в отдельном файле, которые позже будут объединены внешними ссылками. После создания архитекторами архитектурной модели станции, к проектированию подключились остальные специалисты. Было проработано деление модели на участки для ускорения работы системы при армировании конструкций.

В ходе работы над проектом были разработаны модели с выпуском рабочей документации по следующим разделам:

- архитектурные и объемно-планировочные решения;
- конструктивная модель;
- электрический раздел (система электроснабжения сантехнического оборудования, кабельные конструкции для прокладки кабелей, система заземления и уравнивания потенциалов, система электроосвещения, системы видеонаблюдения, расстановка телекоммуникационного оборудования, расстановка оборудования СТП);
- отопление, вентиляция, кондиционирование;
- водоснабжение и канализация;



Архитектурная модель

- организация строительства (крепление котлована);
- расстановка технологического оборудования.

В процессе работы над проектом решались многие практические задачи, возникающие в процессе взаимодействий.

Проблемные вопросы рассматривались на регулярных совещаниях с участием главного инженера или его заместителя. Всего в течение года работы над проектом было проведено 22 технических совещания. Регулярно контролировались «степень зрелости» модели, потребность в информационных компонентах (семействах) и степень их готовности, процент готовности технических решений проекта, процент готовности листов. 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 некоторые осложнения в использовании базовых инструментов Revit. Для этих целей с привлечением внешнего консультанта была разработана утилита, позволяющая архитекторам моделировать полы с конвертовкой, учитывая уклон конструкций станции.

Также одной из особенностей BIM-проекта является разработка раздела «Организация строительства», его специфика в строительстве подобного рода объектах и особенностях реализации в программном комплексе Revit.

В процессе работы над разделом ОС проектировщики пришли к выводу, что имеющихся в Revit инструментов недостаточно для полноценного проектирования крупных котлованов, необходимых для строительства метрополитена. Это не позволяло автоматизировать процесс проектирования в должной мере. Требовалось применение концептуально новых решений, создание семейств наиболее часто применяемых узлов, их специфицирование. Немаловажной задачей стала разработка схемы работы с грунтовым массивом, моделирование выемки в грунте сложной формы и профиля, подсчет объемов земляных работ.



Диплом финалиста

Одним из этапов стало исключение подсчета материалов методом подсчета типовых узлов, примененных в конструкции котлована. Подробная их прорисовка, возможность задания параметров каждому элементу позволили на 100 % автоматизировать составление спецификаций материалов. В то же время, семейства крепления котлована создавались со структурой и параметрами, позволяющими производить подсчет и специфицирование данных узлов, необходимое для подсчета трудозатрат на строительство проектируемого котлована.

Следует отметить работу инженеров-проектировщиков раздела «Электроснабжение». Для осуществления автоматизации проектирования в данном разделе нашими специалистами разработано семейство для подсчета количества кабелей и труб, которое применяется на принципиальных схемах электрических сетей. Заполняя это семейство информацией и применяя готовый шаблон для спецификаций, мы получаем таблицу потребности кабелей и проводов, таблицу потребности труб, кабельный журнал и спецификацию по кабельной продукции. Применение этого семейства позволяет нам полностью избежать ошибки по подсчету кабельной продукции и ускоряет процесс создания электрических схем, кабельных журналов и спецификаций.

Для систем безопасности на объектах метрополитена возможности BIM-технологий позволяют моделировать систему, тестировать модель и производить оценку

эффективности обнаружения нарушений путем визуального представления на модели объекта зон обнаружения, слепых зон и зон перекрытия, чем сокращают сроки проектирования.

В процессе моделирования систем связи и безопасности на станции «Лошицкая» был разработан пульт системы управления работой станции с использованием теленаблюдения (Пульт СУРСТ), стойка для мониторов теленаблюдения и телекоммуникационные шкафы связи, расположенные в помещении ДСП. Данные семейства созданы с вложенными семействами. Включают в себя средства индикации и управления систем, электрические соединители, а также элементы мебели. Визуальное представление расположения оборудования в помещении ДСП позволяет произвести оценку его, учитывая специфику работы дежурного по станции.

Для выполнения комплектов отопления, вентиляции, кондиционирования, водоснабжения и водоотведения силами специалистов института были созданы все семейства оборудования, приборов, арматуры и трубопроводов, необходимые для осуществления проекта станции. Полное соответствие этих семейств натурным габаритам оборудования позволило избежать возможных коллизий в проекте. Заложённая в семейства информация была использована смежными отделами (передача электрических нагрузок), позволила автоматизировать процесс создания спецификаций, а также дала возможность выполнить проверку расчетов систем вентиляции.

На основании информационной модели сформировано 465 чертежей в пересчете на формат А1, разработано 303 семейства разного уровня сложности и степени детализации.

Создание информационных моделей объектов метрополитена может в себе нести 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.

Информационная модель объектов метрополитена, переданная заказчику, может 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.

Применяя принципы BIM в проектировании объектов Минского метрополитена, на проектировщиков ложится бóльшая, чем раньше, нагрузка. Уровень проработки и качество проектов оказываются на порядок выше, что должно дать экономию на стройплощадке.

3 апреля 2018 г. в Москве прошла 2-я Всероссийская научно-практическая конференция «Лучшие мировые практики BIM-технологий в России», в рамках которой были подведены итоги конкурса «BIM-технологии 2017» и состоялась торжественная церемония награждения призеров. На мероприятии присутствовали более 200 чело-

век – разработчики программного обеспечения, проектировщики, представители девелоперских структур, государственных и общественных организаций Москвы и других городов России. Проект «Первый участок 3-й линии Минского метрополитена от станции «Корженевского» до станции «Юбилейная» с электродепо. 3-я очередь. Станция «Лошицкая» занял 1-е место в номинации «Технологии информационного моделирования в проектировании линейных объектов недвижимости», а также награжден специальным призом в номинации «За самый комплексный проект», и отмечен как комплексная перспективная разработка.

На сегодняшний день ОАО «Минскметропроект» ведет работу над проектом очередной станции Минского метрополитена «Аэродромная», с применением BIM-технологии.

Развернута работа над проектом притоннельного сооружения, венткамеры с санузелом, с вовлечением подрядной организации в строительный процесс с применением BIM-технологии.

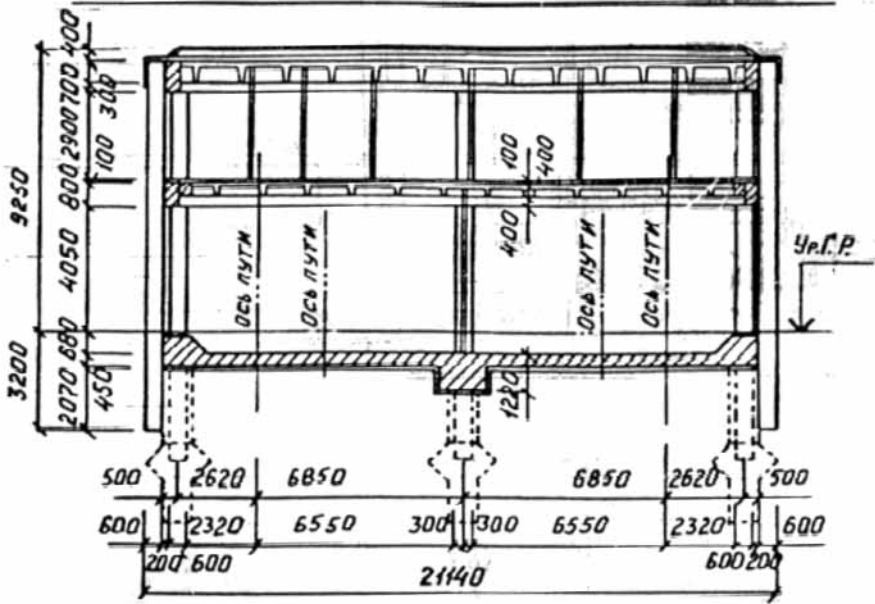


Рис. 3

Данная идея была осуществлена при проектировании станции метро «Пушкинская» и тупиков за ней.

Отличием конструктивной схемы от СТП на ст. «Немига» являлось то, что продольные и поперечные балки конструкции опирались на колонны, сооружаемые с поверхности земли в лидерных скважинах с уширенной пятой. В конструкции, сооружаемой методом «стена в грунте», предусматривалось отказаться от извлекаемых разделительных элементов, и были запроектированы сборные железобетонные ограничители заходок, опускаемые в лидерные скважины, пробуренные на расстояние 3 м в продольном направлении, но из-за отсутствия высокопроизводительной буровой техники пришлось отказаться и от этой идеи, и сборные железобетонные ограничители устанавливались вместе с арматурным каркасом.

Конструктивная схема станции «Пушкинская» показана на рис. 3.

В 2010 г. было начато проектирование третьей линии метрополитена в г. Минске от станции метро «Юбилейная» до «Корженевского».

На стадии архитектурного проекта методом «стена в грунте» были запроектированы: ст. «Юбилейная» с тупиками, платформенный участок ст. «Жуковского» и ст. «Аэродромная» и восемь котлованов притоннельных сооружений на перегонах.

Запроектированные конструкции, сооружаемые методом «стена в грунте», являются, прежде всего, ограждающими конструкциями стен котлованов.

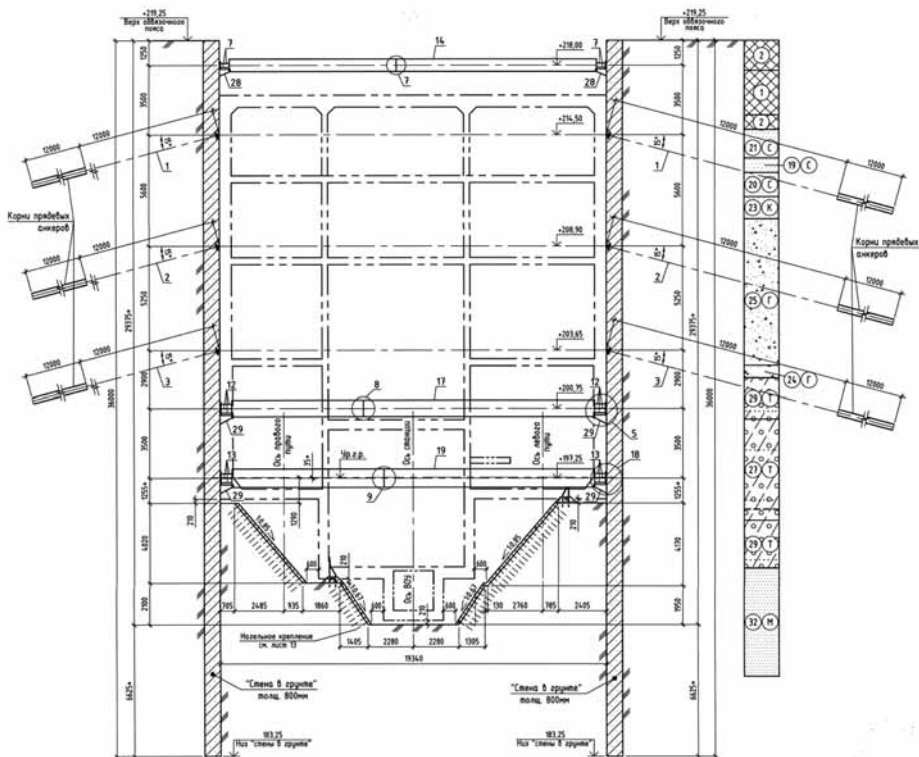


Рис. 4

При выборе способа сооружения ст. «Юбилейная» было рассмотрено три варианта крепления котлована: свайный из двутавровых балок с деревянной затяжкой; устройство буронабивных свай и метод «стена в грунте».

Было принято решение о применении способа «стена в грунте». При поэтапном расчете крепления котлована была окончательно выбрана схема установки временного крепления котлована, состоящая из пяти ярусов и шестого на участке с максимальной глубиной (рис. 4).

Сооружение конструкции методом «стена в грунте» выполнялось с дневной поверхности, глубина траншеи переменная от 30 до 36 м. Проектом предусматривалось сооружение монолитной железобетонной фортшахты, ширина разрабатываемых заходок 2,8 и 3,5 м, что было обусловлено расчетной схемой крепления котлована.

Разработка грунта в заходке производилась с помощью механического грейфера на тросовой подвеске с шириной захвата 2,8 м и массой около 18 т. Базовая машина – гусеничный кран г/п 100 т. Зачистка и выравнивание траншеи производились навесным долотом.

Приготовление, очистка, откачка бентонитового раствора производились комплектом оборудования ф. «Штайн».

Ширина арматурных каркасов равнялась 1650 и 2650 мм. В качестве разделительного элемента использовался инвентарный диаметром 800 мм, извлечение его из траншеи производилось домкратной установкой и гусеничным краном. Контроль за вертикальностью траншеи осуществлялся с помощью датчиков, установленных на грейферном оборудовании. Сооружение «стены в грунте» было выполнено с удовлетворительным качеством, отклонение от вертикали составило 150–200 мм в пределах допустимых, кроме отдельных заходов до 400 мм.

В процессе производство работ велось маркшейдерское наблюдение за зданиями вблизи стен котлована на расстоянии 9 и 14 м. Деформации наблюдались, но незначительные – 5–10 мм. При отрывке котлована и устройстве анкерной крепи деформации увеличились до 30-40 мм.

В 2018–2019 гг. Минскметропроекту предстоит выполнение архитектурного проекта «Продление третьей линии от ст. «Юбилейная» до ст. «Логойская». Проектом предусматривается строительство семи станций, четыре из которых будут находиться в сложнейших гидрогеологических условиях – наличие воды 12–18 м от дна котлованов, и которые предполагается строить методом «стена в грунте».

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ ПРОСАДОК ГРУНТА ПРИ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ

Е. М. Науменко, ПОМ ОАО «Минскметропроект»

При щитовой проходке тоннелей возникает необходимость оценки ее влияния на различные инженерные сооружения (инженерные сети, фундаменты зданий, колодцы, камеры и т. п.), находящиеся в грунте над областью проходки, так как проходка может привести к просадкам грунта, а соответственно и к просадкам данных инженерных сооружений. Для определения просадок грунта часто используются различные компьютерные программы, однако данные программы часто являются дорогостоящими, их необходимо периодически обновлять, продлевать и т. д. Методика, которая изложена в данной статье, позволяет определять просадки грунта графоаналитическим способом, без применения компьютерных программ, на примере проходки тоннелей тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) при сооружении объекта «Первый участок третьей линии Минского метрополитена от ст. «Корженевского» до ст. «Юбилейная» с электродепо» (фактические просадки поверхности грунта при проходке правого тоннеля от ст. «Вокзальная» до ст. «Юбилейная» ориентировочно совпали с расчетными по данной методике).

Рассмотрим риски, из-за которых могут образовываться возможные просадки грунта при проходке тоннелей тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК). Выполним расчет величин данных возможных просадок грунта. Оценим влияние этих просадок на здания, сооружения и инженерные сети.

Риски образования возможных просадок грунта

ТПМК состоит из отдельных элементов, которые образуют единый проходческий комплекс. Основным элементом ТПМК является механизированный проходческий щит. При сооружении тоннелей механизированный проходческий щит работает совместно с комплексом вспомогательных механизмов и оборудования проходческого комплекса. Все основные процессы проходки механизированы и контролируются электроникой.

Сооружение тоннелей при проходке ТПМК выполняется заходками и состоит из следующих основных процессов: разработка и выдача грунта, монтаж колец обделки, передвижка ТПМК с нагнетанием тампонажного раствора за обделку и прочее.

Длина механизированного щита 8235 мм (в том числе длина рабочего органа 750 мм, длина оболочки 7485 мм). Диаметр по рабочему органу (выработка) 6280 мм. Наружный диаметр оболочки щита 6210 мм. Наружный диаметр колец обделки тоннеля 6000 мм (рис. 1).

Просадки грунта при проходке ТПМК могут возникать из-за образования незаполненных зазоров и пустот.

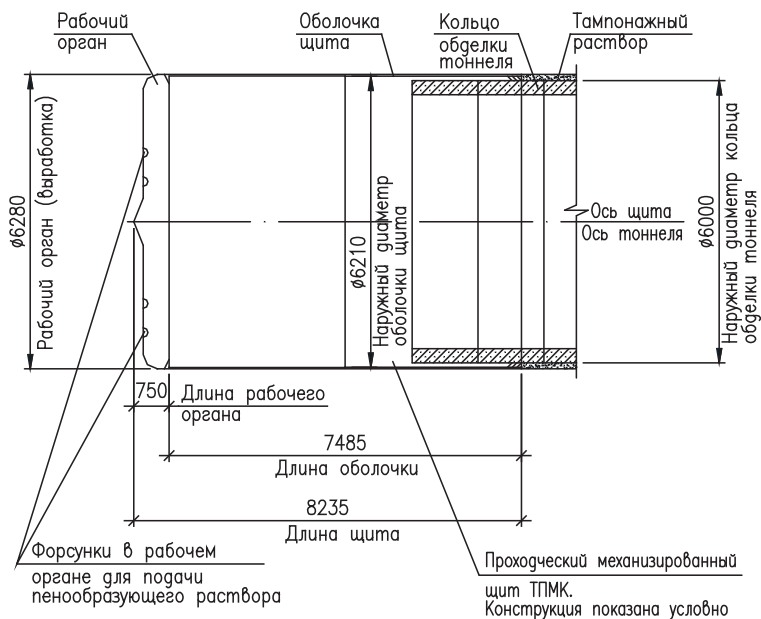


Рис. 1. Проходческий механизированный щит ТПМК (размеры даны в миллиметрах)

Выявленными рисками образования просадок грунта при проходке ТПМК могут быть образования незаполненных зазоров и пустот на трех участках (рис. 2):

- между грунтом и рабочим органом щита.
- между грунтом и боковой оболочкой щита.
- между грунтом и выходящим из щита сооруженным кольцом обделки тоннеля.

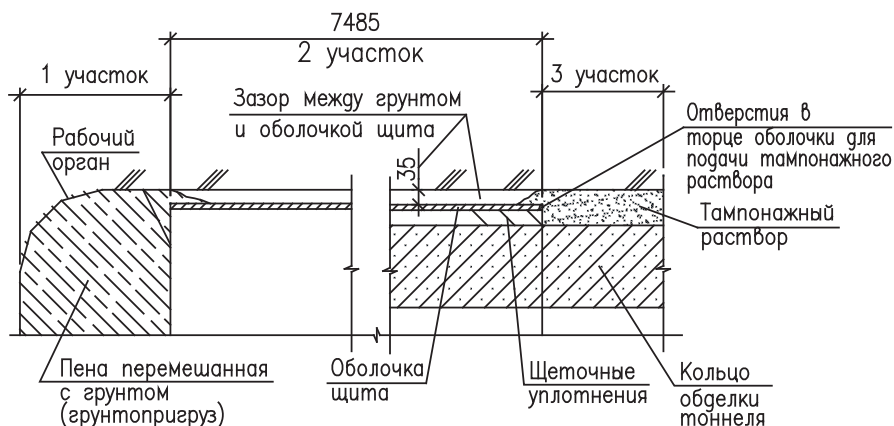


Рис. 2. Участки возможного образования незаполненных зазоров и пустот (размеры даны в миллиметрах)

Рассмотрим эти три участка.

1-й участок. Разработка грунта выполняется рабочим органом (роторная фрезерная головка) механизированного щита. При разработке грунта в забой подается пенообразующий раствор, пена перемешивается с грунтом и заполняет призабойную зону, образуя грунтопригруз забоя. Пенообразующий раствор подается через форсунки. Форсунки на рабочем органе расположены на его лицевой части. Грунтопригруз в забое создает уравнивающее давление на грунт перед рабочим органом и удерживает этот грунт от обрушения. Возможные зазоры и пустоты между грунтом и рабочим органом в призабойной зоне заполняются пеной, перемешанной с грунтом. Процессы подачи пенообразующего раствора и создание грунтопригруза механизированы и контролируются электроникой. В связи с этим принимаем, что все зазоры и пустоты между грунтом и рабочим органом надежно заполнены вспененным грунтопригрузом и практически исключается образование пустот, которые могут привести к просадкам грунта.

2-й участок. Зазор и пустоты между грунтом и оболочкой щита должны заполняться пеной, или пеной перемешанной с грунтом. Однако есть несколько факторов, которые могут препятствовать надежному заполнению этого зазора и пустот:

- так как форсунки подачи пены расположены на лицевой поверхности рабочего органа, то нет прямой подачи пены через оболочку;

- так как пена может попасть за оболочку только пройдя путь через забой, затем через зазор между грунтом и началом оболочки, то сопротивление находящегося в забое грунта, а также значительные длина и диаметр оболочки щита будут препятствовать полному и надежному заполнению зазора и пустот между грунтом и оболочкой;

- зазор между грунтом и оболочкой в ее начале может перекрыться осыпавшимся по месту грунтом, что перекроет путь для дальнейшего поступления пены за оболочку.

3-й участок. Кольца обделки тоннеля монтируются в задней части механизированного щита. Передвижка ТПМК выполняется с нагнетанием тампонажного цементно-песчаного раствора в пространство между грунтом и выходящим из щита сооруженным кольцом обделки тоннеля. Нагнетание выполняется через отверстия в торце задней части оболочки щита. Возможные зазоры между грунтом и выходящим из щита кольцом обделки заполняются тампонажным раствором. Процессы передвижки ТПМК и нагнетания тампонажного раствора механизированы и контролируются электроникой. В связи с этим принимаем, что все зазоры и пустоты между грунтом и выходящим из щита кольцом обделки тоннеля надежно заполнены тампонажным раствором и практически исключается образование пустот, которые могут привести к просадкам грунта.

Вывод. Таким образом, из выше рассмотренных рисков возникновения просадок грунта при проходке ТПМК, для дальнейшего расчета принимается возможное образование незаполненного зазора на 2-м участке между грунтом и оболочкой щита.

Данный расчет выполнен из условия, что все работы по проходке ТПМК выполняются без нарушений технологических процессов проходки, в соответствии с «Регламентом на сооружение перегонных тоннелей». В связи с этим случаи нарушения технологических процессов проходки (например, незаполнение тампонажным раствором зазора между грунтом и обделкой), а также аварийные ситуации (например, обрушение сооруженной обделки, аварийные вывалы грунта в призабойной области), из-за которых могут возникнуть дополнительные просадки и обрушения грунта в данном расчете не рассматриваются.

При проходке ТПМК механизированный щит постепенно передвигается вперед, при этом каждый из трех участков перемещается на место предыдущего. Возможный незаполненный зазор 2-го участка между грунтом и оболочкой щита через 7,485 п. м проходки (длина оболочки) надежно заполнится тампонажным раствором 3-го участка. Данное время проходки ТПМК 7,485 п. м тоннеля составит ориентировочно 12,5 ч (с учетом скорости проходки). То есть время, за которое могут начать возникать просадки грунта из-за незаполненного зазора имеет временной характер и составит около 12,5 ч. Однако в связи с тем, что проходка происходит в грунтах (насыпные, песчаные, супесчаные, суглинистые) в которых принимается отсутствие сводообразования, то принимаем, что обрушение грунта в зазоре может произойти сразу и временным характером незаполнения зазора пренебрегаем. В соответствии с п. 10.4.8 [1] сводообразование возникает в скальных и полускальных грунтах, в нескальных грунтах оно не возникает. Классификация скальных и нескальных грунтов в соответствии с табл. 5.1 и 5.2 [2].

Расчет возможных просадок грунта

Рассчитаем возможную просадку грунта в случае возникновения принятого незаполненного зазора между грунтом и оболочкой механизированного щита. Расчет просадки грунта выполним на 1 п. м проходки.

Просадки грунта начнут развиваться, когда начнет происходить постепенное обрушение грунта над незаполненным зазором. Вначале будет происходить обрушение непосредственно вокруг зазора, затем участок обрушения будет распространяться вверх и в стороны от тоннеля и потом выйдет на поверхность.

Боковыми границами участка просадок грунта будет являться зона возможных деформаций (ЗВД) грунта с углом наклона θ_0 плоскости просадок (сползания) к вертикали, в соответствии с форм. 6.25 [3]:

$$\theta_0 = 45 - \frac{\varphi}{2},$$

где φ , град – угол внутреннего трения грунта.

Усредненное значение φ для грунтов в г. Минске составляет около 30°. Поэтому среднее значение можно принять:

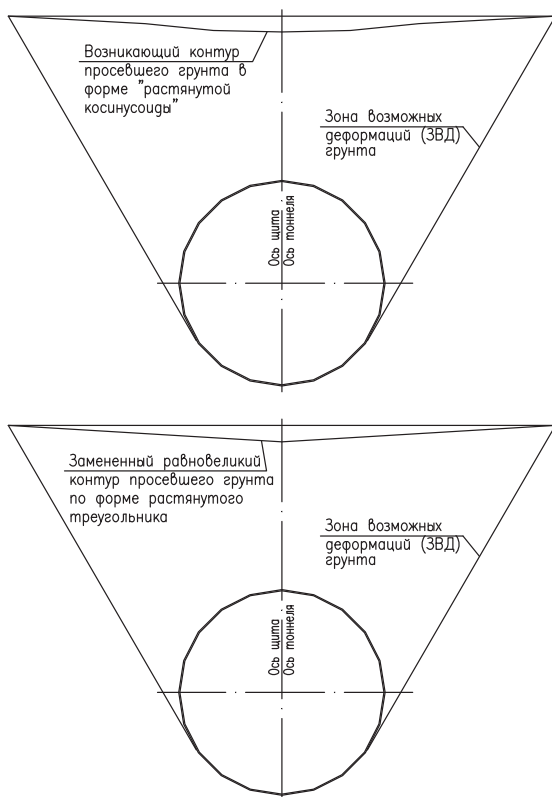


Рис. 3. Заменённый контур просевшего грунта

$$\theta_0 = 45 - \frac{30}{2} = 30^\circ .$$

Объем возможного незаполненного зазора между грунтом и боковой оболочкой механизированного щита CSM BESSAC на 1 п. м проходки составит:

$$V_3 = (3,14 \times \frac{6,28^2}{4} - 3,14 \times \frac{6,21^2}{4}) \times 1 = 0,686 \text{ м}^3 ,$$

где 6,28, м – диаметр рабочего органа щита (выработка);

6,21, м – наружный диаметр оболочки щита.

Так как сечение по незаполненному зазору круглое, а обрушение грунта происходит по направлению сверху вниз, то обрушение грунта незаполненного зазора будет происходить на участке от горизонтальной оси сечения круглого зазора до его верха. Соответственно на участке от горизонтальной оси сечения круглого зазора до его низа обрушения грунта происходить не будет. В связи с этим расчетный объем воз-

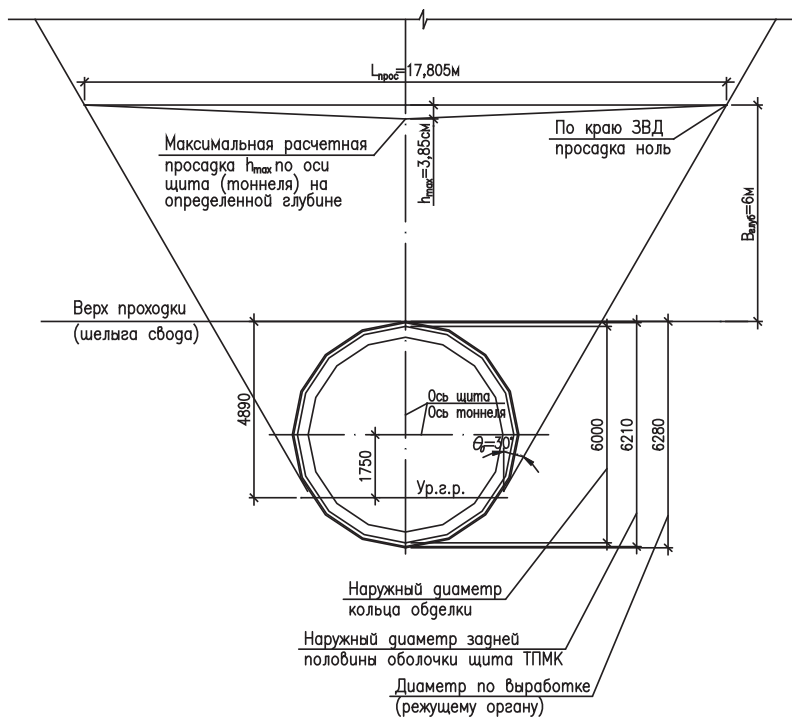


Рис. 4. Возможная расчётная просадка грунта на глубине 6 м

можно обрушившегося грунта $V_{Гр}$ в незаполненный зазор на 1 п. м проходки составит половину от всего объема возможного зазора V_3 :

$$V_{Гр} = 0,686/2 = 0,343 \text{ м}^3.$$

Объем просевшего грунта $V_{Прос}$ на поверхности, либо на любом уровне по глубине будет равен расчетному объему возможного обрушившегося грунта $V_{Гр}$. Объем просевшего грунта с боков будет ограничен ЗВД с углом наклона θ_0 (рис. 4).

Контур (очертание в поперечном сечении) просевшего грунта напоминает «растянутую косинусоиду» с центром просадки по оси тоннеля и стремящуюся к нулю по краям ЗВД. Для возможности определения величины просадки условно заменим контур просевшего грунта вместо «растянутой косинусоиды» на равновеликий (по площади) растянутый треугольник (см. рис. 3).

Объем просевшего грунта с контуром «растянутого треугольника» на 1 п. м проходки будет равен:

$$V_{Прос} = \frac{L_{Прос}}{2} \times h_{макс} \times 1,$$

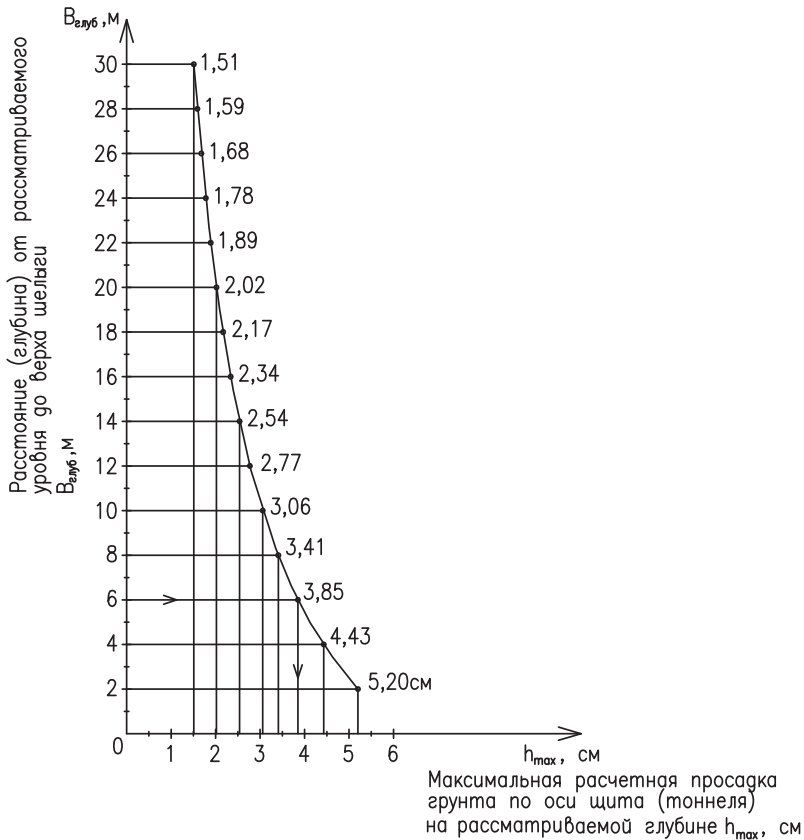


Рис. 5. Ориентировочный график возможных расчётных просадок грунта на различных глубинах по оси тоннеля

где $L_{\text{Прос}}$, м – длина (в поперечном сечении) просевшего участка;

h_{max} , м – максимальная глубина (в поперечном сечении) просевшего участка.

С учетом равенства объемов $V_{\text{Прос}} = V_{\text{Гр}}$ из предыдущей формулы получим расчетную величину возможной максимальной просадки грунта на поверхности, либо на любом уровне по глубине, на 1 п. м проходки ТПМК:

$$h_{\text{max}} = \frac{V_{\text{Прос}} \times 2}{L_{\text{Прос}}} = \frac{0,343 \times 2}{L_{\text{Прос}}} = \frac{0,686}{L_{\text{Прос}}}, \text{ м.}$$

Для примера, определим возможную расчетную просадку грунта на глубине 6 м (расстояние от верха проходки щита ТПМК до рассматриваемого уровня). Определим $L_{\text{Прос}}$ и h_{max} для этой глубины (см. рис. 4):

• для глубины 6 м $L_{\text{Прос}} = 17,805$ м, $h_{\text{max}} = 0,686 / 17,805 = 0,0385$ м = 3,85 см.

Величина просадки на участке между h_{\max} и краем ЗВД, определяется пропорционально по интерполяции.

Для других глубин просадка определяется аналогично.

Если посчитать по данной методике просадки с шагом 2 м по глубине, то их можно свести в график просадок, в зависимости от глубины (рис. 5).

Для проходческих щитов других марок, с другими размерами, но с похожей технологией проходки, расчет будет выполняться с допущениями и по методике аналогичным данному расчету.

Оценка влияния просадок при проходке тоннелей ТПК на здания, сооружения и инженерные сети

Для определения возможных просадок зданий, сооружений и инженерных сетей, находящихся в пределах ЗВД от проходки ТПК, необходимо определить глубину низа фундамента зданий, сооружений, или низ залегания инженерных сетей. Затем, для этой глубины, определить просадку грунта по выше описанной методике. Определенная таким образом просадка грунта и будет являться расчетной возможной просадкой здания, сооружения и инженерной сети.

Полученную возможную расчетную просадку здания, сооружения и инженерной сети сравнивают с предельно допустимой просадкой (деформацией).

На основании полученных результатов расчета принимаются соответствующие решения. Здания, сооружения и инженерные сети, для которых возможная расчетная осадка меньше либо равна предельно допустимой осадке, допускается оставлять в существующем состоянии без дополнительных охранных мероприятий, с выполнением их мониторинга при необходимости. Для остальных зданий, сооружений и инженерных сетей, выполняются охранные мероприятия, демонтаж, либо перекладка. Решение по сохранению, выполнению охранных мероприятий, демонтажу, перекладке зданий, сооружений и инженерных сетей, принимает проектная организация, при необходимости принятое решение согласовывается с заинтересованными организациями.

Список литературы

1. ТКП 45-3.03-115-2008. Метрополитены. Строительные нормы проектирования.
2. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.
3. ТКП 45-5.01-237-2011. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства.
4. ТКП 45-5.01-254-2012. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения. Строительные нормы проектирования.
5. ПБ 07-269-98. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях.

ОПЫТ ОАО «МИНСКМЕТРОПРОЕКТ» ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ АВТОДОРОЖНЫХ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ

С. С. Позняков, ОАО «Минскметропроект»

ОАО «Минскметропроект» – одна из ведущих проектных организаций Республики Беларусь. Объем работ, выполненный организацией на экспорт, составляет до 80 % от общего объема.

Специфика деятельности Минскметропроекта, чьей визитной карточкой являются безупречное качество работ, компетентность и высокий профессионализм, включает широкий спектр проектно-строительных работ. С момента образования, ориентированный на метростроение, со временем он стал ведущей организацией и в дорожном строительстве, проектируя тоннели, подземные и надземные сооружения. С Российской Федерацией институт связывают давние творческие отношения, корни уходящие в 1990-е годы. Сотрудничество это масштабно по объемам и многогранно по спектру: проектирование метро и горных тоннелей, защитных сооружений на автодорогах, дорожное строительство в горной местности с высокой сейсмичностью и т. д.

В 1998 г. совместно с ООО «Тоннельдорстрой» (г. Сочи) ОАО «Минскметропроект» участвовало в принятии решения по прохождению трассы автодороги Адлер - Красная Поляна на одном из самых сложных ее участков – в районе ущелья и реки Мзымта – на 46-м километре автодороги (пос. Красная Поляна). Рассматривались различные решения, и выбор был сделан в пользу варианта с двумя тоннелями. Тогда же был разработан проект и начато строительство участка автодороги протяженностью 4,9 км с двумя тоннелями длиной 420 м и 380 м в особо сложных инженерно-геологических условиях. Участок был введен в эксплуатацию в конце 2002 г. По оценке специалистов, тоннели по техническому уровню и качеству исполнения и сегодня являются одними из лучших среди подобных сооружений. По нашим проектам в г. Сочи построены объекты различного назначения – гражданские здания, коммуникационные тоннели, сооружения инженерной защиты, транспортные тоннели. Но наиболее значимы из них – это, конечно же, названные выше автодорожные тоннели на федеральных дорогах, прежде всего на автодорогах Адлер - Красная Поляна, Джубга – Сочи, совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер – Горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». При проектировании тоннелей в горной местности учитывается высокая сейсмичность до 9 баллов в зависимости от района размещения тоннеля.

Проект инженерной защиты от камнепадов на участке 22–24-й километр автодороги Адлер – Красная Поляна. Хотя сегодня объект утратил свою значимость, поскольку в обход его построен тоннель, но совместная работа здесь со специалистами ООО «Тоннельдорстрой» была весьма интересной в связи с технической

сложностью и новизной принятых технических и организационно-технологических решений.

В период 2004–2010 гг. разработан инженерный проект и рабочая документация на строительство тоннеля № 6 «Автомобильная дорога Джубга – Сочи на участке обхода г.Сочи. ПК134-ПК194».

Строительство тоннеля велось силами организации ООО «Тоннельдорстрой» (г. Сочи).

Тоннель проложен от улицы Пластунская до моста через р. Псахе. Сооружение штольни параллельно тоннелю выполнено сечением калотты для перспективной возможности сооружения второго автомобильного тоннеля.

Для проходки калотты и нижнего уступа одного из крупнейших автомобильных тоннелей России впервые 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 обычным способом. Трасса тоннеля проходит в условиях наличия водоносных зон с водоприток к забою тоннеля – до 18 м³/ч, наличия по трассе тоннеля тектонических зон с нарушенной структурой грунтов.

Сложные горно-геологические условия представлены наличием Воронцовского надвига.

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». В период 2010–2011 гг. подрядная строительная организация «Сид» выполнила работы по сооружению объекта.

Применен передовой способ микротоннелирования ТМПК для прокладки экрана из труб, причем верхний ряд экрана из труб размещен на минимальном расстоянии до балластной призмы.

Главной особенностью данных тоннелей является сооружение закрытого перехода длиной 35 м под защитой экрана из труб без перерыва движения поездов.

Впервые вскрытие забоя под действующими железнодорожными путями производилось на полное сечение тоннеля с креплением лба забоя фибергласовыми анкерами, что позволило сократить сроки строительства.

На период сооружения тоннелей в целях увеличения безопасности выполнено усиление железнодорожного пути страховочными пакетами.

После сооружения первого тоннеля и пуска по нему движения выполнены аналогичные работы по сооружению второго тоннеля.

К Олимпиаде в г. Сочи ОАО «Минскметропроект» разработана проектная и рабочая документация для двух тоннелей:

- совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер – Горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». Автодорожный тоннель № 1;
- совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер – Горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». Автодорожный тоннель № 3.

Для тоннеля N 1 устройство припортальных выемок у Северного и Южного порталов осложнялось размещением на ограниченных участках, что потребовало значительного объема крепления откосов набрызг-бетоном и анкерами. В качестве предотвращения обрушения склонов, опасных в оползневом отношении, предусмотрены подпорные сооружения на буронабивных сваях с устройством надпортального водоотвода.

На 24 % длины тоннеля породы сильнотрещиноватые, раздробленные за счет процессов выветривания на припортальных участках и тектонических процессов - смятия, дробления и смещения. Разработка грунта по трассе тоннеля выполнялась проходческими комбайнами, на участках с высокой крепостью пород применен буровзрывной способ.

В зонах тектонического нарушения проходка предусматривалась с устройством опережающего экрана из труб и с цементацией зон разломов.

По трассе тоннеля были обнаружены карстовые полости. Ликвидация карстовых полостей производилась заполнением бетоном. В отдельных случаях по карстовым полостям было зафиксировано движение грунтовых вод. В таких случаях выполнялся организованный отвод воды путем устройства дренажных камер.

На 76 % длины автодорожного тоннеля № 3 породы сильнотрещиноватые до раздробленных (перетертые до глин), от очень низкой прочности до малопрочных за счет процессов выветривания на припортальных участках и тектонических процессов - смятия, дробления и смещения. Коэффициент крепости по устойчивости $f = 0,8-1,5$. Условия проходки весьма неблагоприятные.

Основным отрицательным фактором для строительства тоннеля являются мощные (глубиной до 60 м и более) врезки четвертичных отложений, приуроченные к древним водотокам.

Осложняющим фактором при проходке по коренному массиву являются обводненные тектонические зоны, с величиной водопритока на забой тоннеля до $30 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На всем протяжении тоннельного участка через 200 м предусмотрено сооружение эвакуационных штолен № 1, 2, 4, 5 и 6, выходящих на борт ущелья р. Мзымта. Для каждой штольни выполнялось устройство припортальной площадки, подъездных дорог и врезки. Осложняющими факторами были размещенные припортальные площадки на косяках в труднодоступных местах с существующей растительностью. Ввиду отсутствия возможности разместить на местности припортальную площадку для штольни N 3 предусмотрено строительство эвакуационной сбойки № 3 между сервисной штольной и тоннелем.

Для сокращения сроков строительства из эвакуационной штольни № 4 выполнено раскрытие двух дополнительных забоев в калотте тоннеля в сторону Южного и Северного порталов.

Разработка грунта по трассе тоннеля выполнялась проходческими комбайнами.

Тоннель на км 93 (Рокский тоннель) в Республике Северная Осетия - Алания представлял собой черную дыру, пробитую в горе. Свет фар выхватывал из кромешной тьмы текущую по скалам воду, черные лужи, широкие ямы. Хотелось быстрее

проскочить эти жуткие четыре тысячи метров. В августе 2008 г. по тоннелю пошли тысячи единиц военной техники и машин с беженцами, ранеными и гуманитарными грузами, что усугубило его аварийное состояние.

ОАО «Минскметропроект» разработан проект реконструкции тоннельного перехода для организации безопасного проезда через перевал из Северной Осетии в Южную.

Для реконструкции тоннельного перехода потребовалось выполнить перенос движения автотранспорта в штольню с организацией реверсивного движения, для этого была предусмотрена перепроходка штольни с увеличением габарита для возможности проезда грузового транспорта.

В начале зимних периодов первые же сильные снегопады почти ежегодно приводят к массовому сходу лавин. Значительные колебания суточных температур обуславливают на прилегающей территории сход лавин всех типов и структур в любое время суток, начиная со второй половины октября до середины мая.

Лавинотормозящие сооружения в виде сетчатого экрана предусмотрены для возведения перед началом работ по реконструкции Рокского тоннеля и остаются на период эксплуатации.

Перепроходка верхней части тоннеля с расширением сечения выполнена проходческими комбайнами с предварительно отсыпанного пандуса. После разборки пандуса выполнена перепроходка нижней части тоннеля.

Наличие зон разрывных нарушений скальных пород, характеризующихся повышенной трещиноватостью и водопритоком, потребовали применения специальных методов работ, таких как закрепление трещиноватых грунтов цементацией и проходка под экраном из труб.

На участке Автомобильная дорога Алагир – Нижний Зарамаг, км 86+300 и км 91+000, Республика Северная Осетия – Алания для защиты от лавин и камнепада силами ОАО «Минскметропроект» разработан проект сооружения тоннеля с противолавинной галереей.

Коренные породы в существующих дорожных врезках буровзрывными работами деструктивированы на значительную глубину и высоту, что содействует активному развитию обвально-осыпных процессов на многие годы и представляет опасность для людей и транспорта. Обвально-осыпные процессы активно проявляются особенно в периоды выпадения осадков.

Вблизи участка строительства располагаются лавинные очаги.

Для раскрытия фронта работ на припортальных участках потребовалось выполнить перенос существующей автодороги в пойму реки.

Для защиты от камнепада на припортальных участках и участке сооружения галереи горные склоны закреплялись защитными сетками.

Размещение порталов тоннеля осложнено необходимостью устройства боковых врезок в горный массив с односторонним боковым давлением.

Проходка предусмотрена с разработкой забоя и немедленным возведением временной обделки: набрызг-бетоном по сетке с железобетонными анкерами.

Дуссе-Алинский тоннель Дальневосточной железной дороги. Проектируемый однопутный железнодорожный тоннель является элементом инфраструктуры Дальневосточной железной дороги на участке Ургал – Комсомольск-на-Амуре.

Предусмотрено сооружение нового тоннеля с ремонтом существующего (используется в качестве сооружения для эвакуации людей). Грунты на уровне заложения проектируемого тоннеля находятся в многолетнемерзлом состоянии $-1,7^{\circ}\text{C}$. Суровый резко континентальный климат. Участок строительства располагается в малоосвоенной местности, требующей организации вахтового метода работ. Во время выполнения работ по сооружению тоннеля рядом функционирует движение поездов по существующему тоннелю. Проходка тоннеля предусмотрена встречными забоями с Западного и Восточного портала методом нижнего уступа способом БВР с последующей установкой анкерного крепления и нанесения набрызг-бетона.

Подготовка к чемпионату мира по футболу 2018 г. в аэропорту Шереметьево затронула масштабные работы по модернизации, к которой были привлечены лучшие российские и зарубежные организации, опыт специалистов ОАО «Минскметропроект» оказался неоценимым. Результатом явилось участие в крупномасштабном проекте реконструкции – запроектирован тоннельный переход для обеспечения скоростной связи между Северным и Южным терминальными комплексами аэропорта. Создание крупномасштабных проектов всегда сопутствует решению сложной задачи по увязке реализации сложных технических решений со сжатыми сроками строительства и утверждением в органах государственной экспертизы проекта. А здесь она усугублялась непростой градостроительной ситуацией, параметрами сооружения, работой в довольно стесненных условиях и в сложных грунтах, крайне сжатыми сроками проектирования и строительства – объект должен быть готов к чемпионату мира по футболу 2018 года, когда концентрация приезжающих в Шереметьево увеличится в разы. Концепция проекта и функциональные требования обязывали к поиску необычных, уникальных, причем не только в инженерном и технологическом плане, решений.

Часть действующего здания существующего Терминала Е оказалась в зоне влияния возможных деформаций от строящегося котлована, что потребовало детальных работ по сведению к минимуму возможных осадок существующих фундаментов.

Тоннельный участок МТП предусмотрен в подземном исполнении. В него входят: тоннель АСПП и тоннель АСПБ внутренним диаметром 5,4 м, три технологические сбойки, камера водоотливной установки. Притоннельные сооружения находятся на территории летного поля и необходимым условием их возведения было применение закрытого способа без вскрытия с поверхности.

По трассе проходки ТПМК в зоне возможных деформации на территории летного поля находятся действующие подземные топливопроводы, выполнена оценка влияния от проходки для обеспечения их сохранности.

Для пригруза на входе и выходе ТПМК, защиты от осадок фундамента терминала Е предусмотрено использование современных технологий по закреплению грунтов методом струйной цементации.

Строительство велось в условиях напряженного режима работы действующего аэропорта Шереметьево без изменения графика движения воздушных судов.

Трасса проходки тоннелей пересекает стоянки самолетов на Южном и Северном участке (для увеличения безопасности составлен график закрытия стоянок в период проходки тоннелей).

Трасса проходки пересекает две действующие взлетно-посадочные полосы и рулежные дорожки (закрытие ВПП и рулежных дорожек недопустимо). До начала проходческих работ во избежание аварийной ситуации, связанной с возможными осадками покрытия ВПП, под ВПП выполнено устройство системы мониторинга с установкой инклинометрической системы.

Реализация проекта успешно закончена в срок подрядной строительной организацией ООО «Энергострой».

СОЗДАНИЕ ГОСТЕПРИИМНОГО ПРОСТРАНСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Н. И. Сенюк, ООО «БАУТРЕЙД»

Инфраструктура: развитие и расширение

Согласно прогнозам исследований, к 2025 г. 60 % населения мира будет проживать в городских районах. Наряду с ростом населения увеличиваются темпы модернизации городского жилого фонда, развивается архитектура и инфраструктура. Все больше мест общественного пользования от станций метро до пешеходных переходов превращаются из безрадостных, вызывающих беспокойство пространств в привлекательные и располагающие.

Каждый инфраструктурный проект, будь то новый строительный объект или реконструкция сооружения – сталкивается с изменением архитектурной, технологической и общественной среды. Глобальная транспортная инфраструктура претерпевает значительные изменения.

Результаты наблюдений

Негостеприимное пространство

Во всем мире наблюдается развитие общественного транспорта и рост количества пассажиров. Однако большая часть мест, связанных с общественным транспортом, не отличается привлекательным внешним видом. Они сильно загрязнены и испорчены граффити. Хаотично перемещаясь в подобных многолюдных мрачных пространствах, пассажиры ощущают себя в замкнутом пространстве.

Непривлекательный внешний вид мест пользования общественным транспортом

Пространство, в котором мы находимся, сильно влияет на наше настроение и поведение. Остановки общественного транспорта, как правило, имеют непривлекательный внешний вид и отталкивают пассажиров монолитными деталями и режущей глаз хаотичностью. В результате пассажиры, быстро перемещающиеся через многолюдные пространства, испытывают стресс.



Несоответствие ожиданиям

Современные технологии позволяют постоянно получать информацию об окружающей обстановке. Люди рассчитывают на то, что, по меньшей мере, смогут определить свое местонахождение. Однако они становятся жертвами обстоятельств и не могут сориентироваться в пространстве ни по архитектурным, ни по культурным объектам. В таких пространствах не уделяется должного внимания потребностям пассажира.

Эстетичность + долговечность + функциональность

Металлокерамические панели «ХАРД-ВОЛЛ», изготавливаемые в целях реализации архитектурных решений, способна преобразить любое пространство благодаря практически неограниченному сочетанию цветов, разнообразным технологиям печати, размерам и возможностям применения.

Металлокерамика – один из наиболее надежных материалов, имеющих на рынке. Он сочетает в себе лучшие свойства керамики и стали, позволяющие создать непревзойденную по качествам поверхность. Прочные и надежные панели не царапаются и не подвержены коррозии. Такая поверхность не выцветает, и на ней не остаются пятна. Поэтому ее довольно легко чистить, а ухода за ней почти не требуется. Более того, стоимость эксплуатационного обслуживания существенно ниже.



Возможности

Модернизация пунктов перевозки пассажиров

Красивые надежные покрытия позволят модернизировать места, связанные с общественным транспортом. Металлокерамические панели ХАРДВОЛЛ, используемые на станциях метро, аэровокзалах, в тоннелях и прочих транспортных системах, обеспечивают:

- устойчивость к царапинам, граффити и воздействию химических веществ
- превосходный эстетический внешний вид
- непористый, непроницаемый, материал с прочностью стали

Создание гостеприимного пространства

Пространства, предназначенные для людей, должны отличаться гостеприимством, иметь указатели и информационные материалы, культурные объекты. В таком месте ожидание становится менее длительным, многолюдные



скопления людей кажутся не такими значительными, а поездка приносит больше удовольствия.

Панели из металлокерамики ХАРДВОЛЛ помогают людям получить необходимую информацию, предоставить обеспокоенным пассажирам физическую и эмоциональную поддержку. Пространства, предназначенные для людей, стимулируют пассажиропоток и гарантируют экономические преимущества и общественную пользу.

Превосходство ожиданий

С целью удовлетворения потребностей мобильного населения по всему миру тщательно спроектированные пункты перевозок должны иметь приятный внешний вид, графические объекты и культурно-исторические изображения.



Архитектурные панели ХАРДВОЛЛ – это:

- невыцветающая яркая многокрасочная цветная печать
- карты и указатели
- культурная и историческая информация
- декоративные настенные покрытия
- графические объекты и фотографии
- реклама и корпоративная символика





Металлокерамика – идеальный выбор для любого проекта. Ее внешний вид представлен различными вариантами, она не имеет аналогов по износостойкости в жестких условиях эксплуатации и отличается сниженной стоимостью эксплуатационного обслуживания.

Наши специалисты ознакомят вас с технологией и удостоверятся в том, что вы выбрали способ, который оптимально подходит для вашего проекта. Свяжитесь с нами по телефону или электронной почте: <http://www.bau-t.ru>; +7 (495) 662-57-32.

О ТОННЕЛЕ НА О. САХАЛИН

*Н. И. Кулагин, В. А. Маслак, К. П. Безродный, М. О. Лебедев,
ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»*

Предполагаемый транспортный переход пролива Невельского располагается в весьма сложной с геологической точки зрения пограничной зоне между двумя крупнейшими геоструктурными провинциями: Центрально-Евро-Азиатской на западе и Тихоокеанской на востоке. Каждая из провинций представлена соответственно Буреинско-Сихоте-Алиньским и Курильским регионами. Граница между провинциями в районе перехода имеет меридиональное направление и проходит по проливу Невельского.

Наименьшая ширина пролива (между мысом Средним на западе и Погиби – на острове Сахалин) 7,8 км.

В комплексном проекте железнодорожного соединения о. Сахалин с единой транспортной сетью страны (проект строительства железнодорожной линии Селехино – Ныш) барьерным, наиболее сложным и дорогостоящим объектом является строительство постоянного перехода через Татарский пролив в наиболее его узком месте (пролив Невельского) в районе мыса Лазарев (материк) – мыс Погиби (о. Сахалин) (рис. 1). Поэтому выбор вариантов технических решений и конструкций инженерных сооружений транспортного перехода, имеет решающее значение при определении экономической оценки всего проекта в целом в период строительства и эксплуатационной эффективности и надежности в последующем. На выбор вариантов инженер-



Рис. 1. Тоннельный вариант перехода через пролив Невельского

ных сооружений транспортного перехода через пролив Невельского огромное влияние оказывают сложные инженерно-геологические и природно-климатические условия района предстоящего строительства и последующей эксплуатации. В инженерно-геологическом плане это мощный слой (до 30 м) донных осадочных отложений с низкой несущей способностью, а также высокая сейсмическая активность в районе строительства с вероятностью землетрясений до 9 баллов по шкале Рихтера. Для гидрологии пролива характерны периодические изменения направленности течений с переносом значительных масс донных отложений в прибрежных зонах. В осенне-зимний период частые штормовые явления создают неблагоприятную ледовую обстановку и обледенение судов, а также береговых инженерных конструкций.

Климатические условия

Климат района работ является муссонным. Характеризуется господствующими ветрами северных направлений в зимний период и южных – в летний.

Осадки. Среднегодовое количество осадков составляет 736 мм, максимальное – 1416 мм; суточное измеренное – 80 мм. 61 % осадков выпадает в теплое время года (май-октябрь). Снежный покров устанавливается в конце октября и достигает в феврале-марте 35–40 см (максимально 74 см). Гололедные явления наиболее часты в апреле-мае, толщина гололедных стенок достигает 20–25 см.

Температуры. Среднегодовая температура воздуха составляет минус 2,2 °С, минимальная – минус 47 °С (январь), максимальная плюс 31 °С, самой холодной пятнадцатидневки – минус 30 °С.

Ветры. В зимний период повторяемость ветров северного и северо-западного направлений составляет 53–54 %, южных – 24–25 %. В теплое время года, наоборот, преобладают южные и юго-западные ветра (45–46 %). Ветры слабые и умеренные (до 10 м/с) наблюдаются в 78 % случаев ветреных дней, штормовые (более 15 м/с) – 45–47 дней в году. В зимнее время (декабрь-январь) ветры могут достигать силы до 27–29 м/с, при порывах до 45–46 м/с.

Гидрологический режим

Уровень воды в проливе определяется приливо-отливными, сгонно-нагонными и сейшевыми явлениями. Наибольшая величина приливов (по астрономическим условиям) достигает 2,20–2,25 м при средней величине 1,50–1,55 м; максимальное нагонное повышение уровня при штормовых ветрах северного направления – 0,8 м. Понижения сгонного характера значительных изменений уровня воды не вызывают, поскольку определяются лишь ростом атмосферного давления. Сейшевые колебания уровня могут достигать 0,45–0,50 м с периодом от 8 до 30 мин.

В Балтийской системе высот средний уровень составляет 0,22, экстремальные 2,62 и минус 1,03 м.

Волновой режим в проливе умеренный. Повторяемость ситуаций с высотой волн более 1,0 м составляет 22 %. Максимальная высота волны достигает 2,70 м (1 раз в 50 лет). Волны цунами в вершину Татарского пролива не проникают.

Течения на участке пролива Невельского носят преимущественно реверсивный характер с некоторым преобладанием южных направлений – к Японскому морю. Продолжительность направленных в одну сторону течений при исключительно высоких нагонах может достигать 92 ч.

Наибольшие скорости течения наблюдаются в глубоководной части пролива (желоба). Они достигают при отсутствии льда в приповерхностном слое 2,35 м/с, у дна – 1,8 м/с. При полном замерзании пролива максимальные скорости формируются в 2–3 м от дна и составляют 1,3 м/с. По мере уменьшения глубин в проливе уменьшаются и скорости течения.

Ледовый режим участка строительства является наиболее суровым из всех районов Татарского пролива. Льдообразование начинается в конце октября – начале ноября и в сжатые сроки охватывает почти всю акваторию. Неподвижный лед в середине ноября закрепляется в виде прочного устойчивого припая на мелководьях и быстро распространяется к центру бассейна. Полное замерзание пролива Невельского происходит лишь через 2–2,5 месяца после появления припая у берегов.

Наибольшего развития ледяной покров достигает в начале апреля; толщина льда у берега составляет 1,3–1,4 м, а в суровые зимы 1,6–1,7 м, в районе глубоководного желоба от 0,4–0,5 до 0,8–0,9 м. Ледяные торосы возникают вдоль бровок фарватера или на отмелях. Их высота в отдельных грядах может достигать 3 м.

Признаки разрушения льда появляются в апреле, в первую очередь разрушаются торосы. Окончательно припай разрушается к началу третьей декады мая. Плавающий лед наблюдается до конца мая – начала июня. Возможен дрейф ледяных полей протяженностью до 1 км под действием приливных течений и ветра. Максимальная скорость дрейфа 2,5 м/с. Расчетная прочность крупных дрейфующих льдин (на одноосное сжатие) при неблагоприятном стечении условий определена в 4,7 МПа.

Толщина льда, примерзающего к гидротехническим сооружениям, по наблюдениям в соседних районах, соизмерима с толщиной местного припая (1,5–1,7 м).

Из возможных вариантов строительства искусственных сооружений, применимых в рассматриваемых условиях в различных предпроектных проработках, выполненных в 50–60-е годы и затем с 90-х годов по настоящее время, рассматривались:

- мостовые переходы различных конструкций;
- сплошная дамба или в сочетании с мостовым переходом;
- тоннельный вариант с горной проходкой основного ствола тоннеля;
- тоннельный вариант мелкого заложения с использованием опускных секций.

У каждого из рассматриваемых вариантов есть следующие преимущества и недостатки.

Мостовые переходы различных конструкций

Наличие мощных донных отложений потребует возведение промежуточных русловых опор большой высоты (заглубление более 30–40 м до коренных пород и обеспечение подмостового габарита прохода судов до 70 м, с общей высотой опоры от основания опоры до низа пролета более 100 м).

Возможное воздействие ледовых нагрузок на опоры моста в разных направлениях вдоль и поперек оси моста неизбежно потребует создание равнопрочности опоры в направлениях вдоль и поперек моста, аналогично плавучим буровым установкам.

Возможное обледенение конструкций пролетных строений в осенне-зимний период потребует дополнительное их усиление с учетом нагрузок, сопоставимых с нагрузкой самих конструкций и переменной от подвижного состава. В процессе эксплуатации вполне вероятны дополнительные затраты по содержанию пролетных строений.

Высокая сейсмическая активность потребует дополнительное усиление всех конструкций мостового перехода, включая опоры и пролетные строения.

Тоннельные варианты

Впервые строительство перехода на о. Сахалин началось в 1951 г. Проектом был предусмотрен тоннельный вариант перехода. Была пройдена вертикальная выработка (ствол) на материке и часть дамбы. Но после смерти И. В. Сталина работы были прекращены.

В 2000 г. по заказу ОАО «РЖД» РФ были разработаны проектные соображения по вариантам мостового и тоннельного перехода. Генеральным проектировщиком определен институт «Мосгипротранс». Проектом предусматривалось строительство железной дороги Селехин-Ныш с пересечением Татарского пролива по трем вариантам трассы. Тоннельные варианты разрабатывал ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» при участии ОАО «Гипротрансмост» (раздел ОВОС)

Проект всего сообщения с учетом мостового и тоннельного сооружений был оценен на начало 2013 г. в 386,6 млрд и 387 млрд рублей, соответственно. При почти одинаковой стоимости вариантов сроки строительных работ различны: 7,5 лет заняла бы стройка линии вместе с мостом и 9 лет – с прокладкой тоннеля.

С целью определения наиболее эффективных конструктивных и технологических решений по сооружению тоннельного перехода непосредственно под проливом, рассматривались следующие варианты его сооружения.

Вариант I. Тоннель $D_n = 9,5$ м и сервис-тоннель $D_n = 5,5$ м с щитовой проходкой.

Вариант II. Тоннель $D_n = 11,5$ м с щитовой проходкой.

Вариант III. Тоннель из опускаемых секций.

Вариант IV. Тоннельно-мостовой переход.

Вариант V. Комбинированный тоннель с обделками из опускаемых 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:

- опускаемые секции;
- ТПМК с пригрузом забоя.

Сооружение тоннеля опускаемыми секциями в зависимости от створа стоит 231527,73-289575,41 млн руб. Срок строительства 5–6,5 лет. Сооружение тонне-

ля с помощью ТПМК стоит 171809,24-184763,26 млн руб. в зависимости от створа пересечения пролива. Срок строительства 9 лет 5 мес. – 9 лет 6 мес.

Наиболее эффективным вариантом был признан вариант тоннеля большого поперечного сечения с щитовой проходкой $D = 11,5$ 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.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИБРОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТА СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2013

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

1. Обзор отечественного и зарубежного опыта применения фибробетонов в обделках транспортных тоннелей

Рассматриваются виды фибры для армирования несущих конструкций транспортных тоннелей.

Рассматриваются виды конструкций - монолитные, сооружаемые методом набрызга, сборные заводского изготовления.

Приводятся примеры конструкций из отечественного и зарубежного опыта с применением только фибрового армирования и комбинированного армирования (фибра + арматурные стержни).

Представлены сводные материалы в табличном виде по применению фибробетонов на объектах транспортного тоннелестроения.

2. Краткий обзор нормативной базы проектирования и испытания фибробетонных конструкций

Дается критический анализ применения стандартов на испытание бетонных образцов для испытания фибробетонных образцов.

Производится обзор существующих зарубежных стандартов на испытание образцов различных видов из фибробетона (отечественные отсутствуют). Выполнен краткий обзор оборудования для испытания фибробетонных образцов.

Рассматриваются отечественные и зарубежные нормы проектирования конструкций из фибробетона.

3. Основные проектные положения СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2013

Рассматриваются основные проектные положения СТО. Производится сравнение с другими отечественными стандартами на проектирование конструкций из фибробетона.

4. Основные принципы проектирования

4.1. Принципы выбора материалов для тоннельных обделок

Рассматриваются принципы предварительного назначения классов фибробетона по прочности на сжатие, по остаточной прочности на растяжение при изгибе, выбору типа фибры по материалу и геометрической форме.

4.2. Моделирование работы конструкции и определение внутренних усилий

Рассматриваются принципы моделирования фибробетонных конструкций.

4.3. Расчет конструкции по предельным состояниям

Описывается алгоритм выполнения расчетов конструкции по прочности и трещиностойкости с применением нелинейной деформационной модели.

Дается краткий сравнительный анализ расчета по СТО и по другим стандартам с наглядным отображением разницы в результатах расчета.

5. Сравнительный анализ существующих решений железобетонных конструкций обделок и альтернативных фибробетонных конструкций

Приводятся примеры конструктивных решений армирования обделок тоннелей из отечественного и зарубежного опыта для разных видов конструкций (горный способ, щитовой способ, сборные обделки, монолитные обделки, набрызгбетонные крепи). Сравнивается материалоемкость, выполняется упрощенная оценка предполагаемых трудозатрат на изготовление конструкций.

МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТВОЛОПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

А. Н. Ревва, ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург

История строительства стволов в мировой практике достаточно разнообразна. В отечественном метростроении за эволюцией проходки стволов мы можем наблюдать на примере старейшего в стране Московского метрополитена, где изначально применялся метод опускного колодца, а в сложных геологических условиях предпочтение отдавалось кессону. Затем было освоено предварительное замораживание грунтов и погружение крепи с помощью домкратной станции. Прорывным в этой цепочке в 1969 г. становится метод погружения крепи в тиксотропной «рубашке», позволяющий вести проходку ствола в сложных гидрогеологических условиях без применения предварительного замораживания грунтов. Данный способ позволил не только сократить затраты на строительство в 2 раза по сравнению с предварительным замораживанием грунтов, но и осуществить мечту горных инженеров, реализовав технологию, исключая ручную работу при забое при разработке грунта. Грунт при этом разрабатывается с помощью грейфера, а монтаж обделки производится на поверхности с последующим задавливанием ее в грунт при помощи домкратов.

Концепции разработанных технологий на тот момент не решали проблему строительства шахтных стволов в неустойчивых породах с большим водопритоком. Реализация данной технологии в условиях Санкт-Петербурга была признана нецелесообразной по причине большого количества валунов и близкого расположения грунтовых вод относительно поверхности земли. По этой причине в Северной столице обрела свою популярность технология с предварительным замораживанием грунтов.

Современные мировые тенденции строительства подземных сооружений направлены в сторону высоких технологий, минимизации материальных затрат, увеличения скорости проходки, автоматизации и безопасности проходческих работ, сводя к минимуму ручную работу в проходческом цикле.

В начале 2000-х годов технология проходки ствола в тиксотропной «рубашке» была усовершенствована немецкими инженерами, тем самым создана стволопроходческая машина VSM. Разработка грунта в этом случае осуществляется с помощью телескопической стрелы с шарошечным режущим органом, а разработанная порода выдвигается на поверхность по трубам вместе с бентонитовой суспензией. В остальном все элементы давно зарекомендовавшей себя технологии повторялись.

Производство проходческого отечественного оборудования во времена перестройки пришло в упадок. Сегодня же данная сфера начинает набирать обороты и обретать новую силу.

Так, при совместной работе ОАО «Метрострой» и ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» был создан комплекс тоннелепроходческий механизированный КТПМ-5,6/6,0 для сооружения перегонных тоннелей метрополитена.

В дальнейшем плодотворная работа этих двух организаций привела к идее создания стволопроходческого комплекса, который заменит ручной труд механизацией процессов строительства стволов, повысит производительность и обеспечит безопасность ведения горнопроходческих работ.

Специалистами ОАО «Метрострой» совместно со специалистами ООО «СОЭЗ» (г. Тула) был разработан комбайн стволопроходческий СПК-6,0.

Комбайн предназначен для выполнения следующих технологических операций:

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

Работа комбайна осуществляется по циклической схеме.

Во время разработки массива забоя комбайн опирается башмаками домкратов (опорных гидроцилиндров) на забой ствола, а также дополнительно распирается при помощи гидроцилиндров в его стенки.

Исполнительным органом осуществляется разработка породы на заданную глубину по всей площади сечения ствола. Количество слоев обработки на один шаг передвижки по глубине (1,0 м – высота тьюбингового кольца сооружаемого ствола) равен двум слоям высотой по 0,5 м.

При отбойке породы с центральной части забоя, комбайн полностью опирается на забой с использованием всех предусмотренных конструкцией опорных гидроцилиндров. При отбойке породы с периферийной области забоя для исключения контакта фрезы исполнительного органа с опорными гидроцилиндрами предусмотрен поочередный подъем и опускание по одной опоре для пропуска под ней фрезы при операции вращения внутреннего кольца. После выхода фрезы из зоны возможного контакта сначала производится опускание ранее поднятой опоры, а потом поднятие следующей по ходу движения опоры.

Погрузка разработанного грунта осуществляется подвешенным на силовом секторе комплекса экскаватором-погрузчиком в породную бадью, опускаемую с поверхности.

Далее производится опускание комбайна на величину отработанного пространства, монтаж нового кольца тьюбингов с подачей и стыковкой его к колонне ствола.

После монтажа очередного кольца производятся работы по первичному нагнетанию затюбингового пространства.

После этого цикл проходки повторяется.

Технические характеристики СПК-6,0

Диаметр возводимого ствола – 5,5 м.

Способ разработки грунта – механизированный, барабанной фрезой с режцовым инструментом.

Глубина захватки – 0,5 м.

Способ погрузки периодический, с использованием подвешенного экскаватора-погрузчика.

Объем ковша экскаватора-погрузчика – 0,3 м³.

Масса комбайна – 60 т.

На сегодняшний день ведутся первые проходческие работы комплексом СПК-6,0 на строительной площадке шахты № 571 Лахтинско-Правобережной линии Петербургского метрополитена.

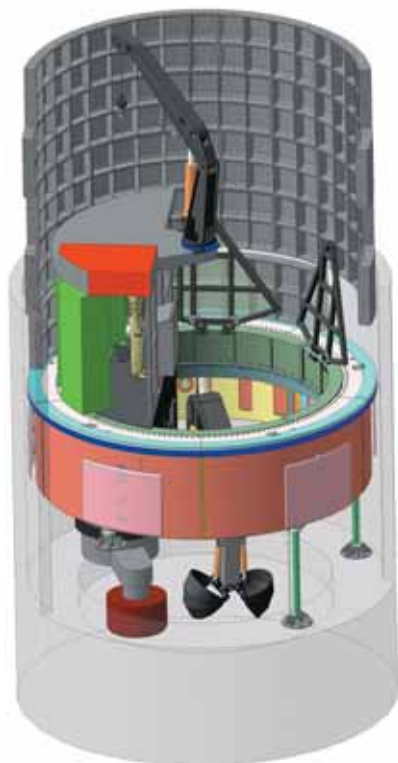
Ствол сооружается в нелегких геологических условиях - на юго-западном борту Васильевского «размыва» – до глубины 39 м это слабосвязные глинистые и рыхлые обводненные совершенно неустойчивые четвертичные отложения с галькой и валунами. Несмотря на это проходческие работы ведутся в штатном режиме с небольшими отклонениями по скорости проходки: постепенно происходит освоение новой техники, обучение персонала, также сказываются и геологические условия – ежедневно приходится извлекать валуны.

При интенсивной работе СПК-6,0 столкнулись с перегревом планетарного редуктора привода режущего органа. После обследования механизмов, специалисты пришли к выводу, что комплексу требуется дополнительная система смазки и охлаждения привода фрезы. Комплекс был оперативно доработан и продолжил свою работу.

На сегодняшний день проходка ствола приостановлена на монтаж горного комплекса, после чего метростроевцы планируют выйти на проектные скорости сооружения ствола.

Расчет экономической эффективности применения СПК-6,0 показал преимущество над стандартным ручным способом проходки подобных стволов уже при строительстве второго ствола, а при строительстве третьего экономия составит 20 %.

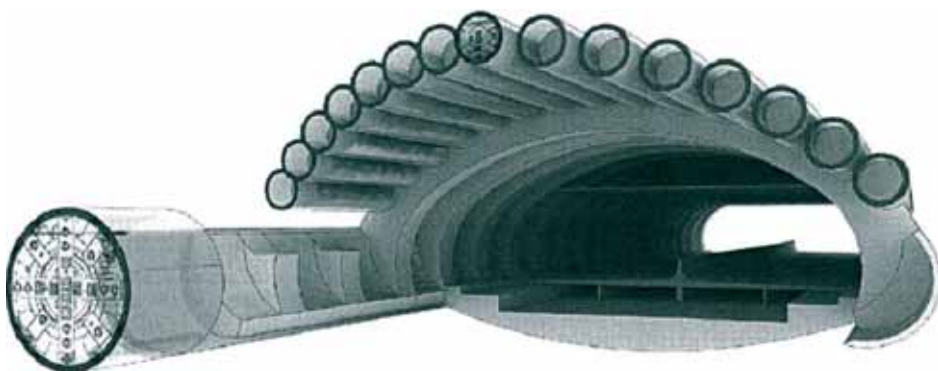
Новый комплекс СПК-6,0 успешно начал свою работу в условиях строительства Петербургского метрополитена. И метростроевцы уверены, что освоив этот агрегат, он значительно облегчит их труд и ускорит процесс сооружения стволов, а также даст толчок развитию производства отечественного горнопроходческого оборудования.



Монтаж тубингов

О СТРОИТЕЛЬСТВЕ СТАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА В05 ФИОЛЕТОВОЙ (ЧЕТВЁРТОЙ) ЛИНИИ БАКИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА ПОЛУЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ ПОД ЗАЩИТОЙ ЭКРАНА ИЗ ТРУБ, ВЫПОЛНЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОТОННЕЛИРОВАНИЯ

Р. Л. Гучёк, А. П. Михайлов, ОАО «Минскметропроект»



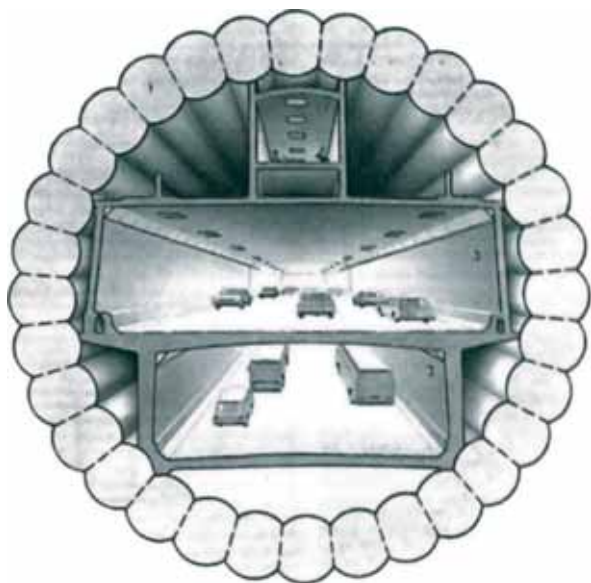
Общие сведения

В последние годы в практике подземного строительства наметилась тенденция использования в качестве опережающей крепи системы вспомогательных тоннельных выработок, пройденных по контуру будущего сооружения и заполненных бетоном или железобетоном. Такая крепь может входить в состав постоянной несущей конструкции и воспринимать давление грунта как на стадии строительства, так и на стадии эксплуатации сооружения.

Впервые опережающую крепь из заполненных бетоном контурных штольневых выработок, условным диаметром 3 м, применили при строительстве двухъярусного автодорожного тоннеля наружным диаметром 24,4 м и длиной 450 м в Ситле (США).

Так же, с применением этой технологии в Милане в 1990 г. возведена односводчатая станция метрополитена «Венеция», запроектированная итальянским инженером Петра Лунарди; длина станции 216 м, ширина 28,2 м. Станция расположена под застроенной территорией, на глубине 3,9 м от поверхности земли в несвязных, слабоустойчивых грунтах (илы, пески и гравий).

Строительство подземного сооружения полузакрытым способом начинается с проходки опорных тоннелей механизированными тоннелепроходческими комплексами с последующим демонтажем части тоннельной обделки. ТПМК с оси перегон-



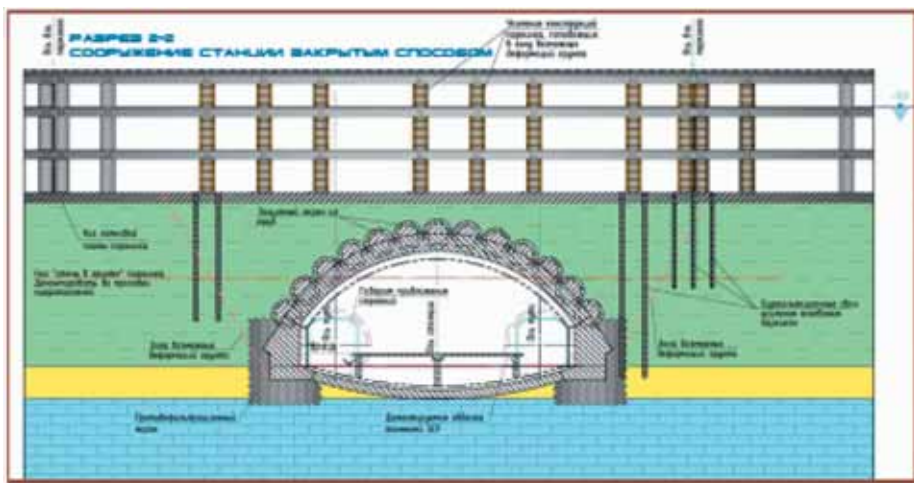
ного тоннеля переходит на ось опорного тоннеля в предварительно сооруженном котловане (вестибюля). В котловане второго вестибюля проходческий комплекс возвращается на ось перегонного тоннеля, и осуществляется комплекс работ для обеспечения дальнейшей проходки перегонного тоннеля и одновременного строительства станции.

Технологическая последовательность производства работ

Перед инженерами ОАО «Минскметропроект» была поставлена задача разработать проект строительства станционного комплекса В05 Фиолетовой (четвёртой) линии Бакинского метрополитена по принципу Петра Лунарди.

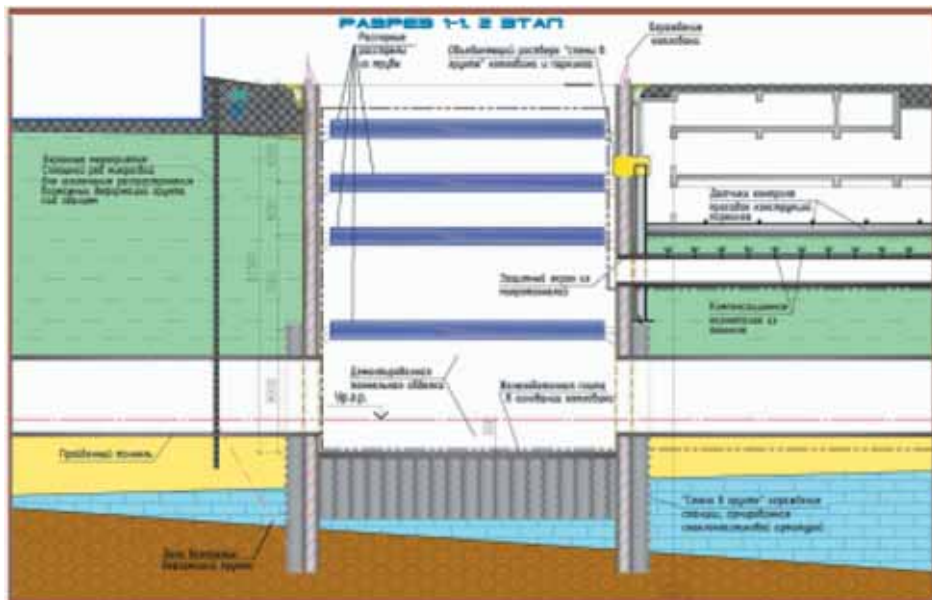
В месте расположения станционного комплекса находились действующий трёхуровневый подземный паркинг и жилое здание недавней постройки, полный или частичный демонтаж которых не представлялись целесообразным. Исходя из этого ОАО «ММП» предложило такой вариант конструктива и объёмно-планировочных решений будущей станции:





Изучив градостроительную ситуацию, инженерно-геологические и технологические условия строительства, ОАО «ММП» разработало следующую этапность производства работ.

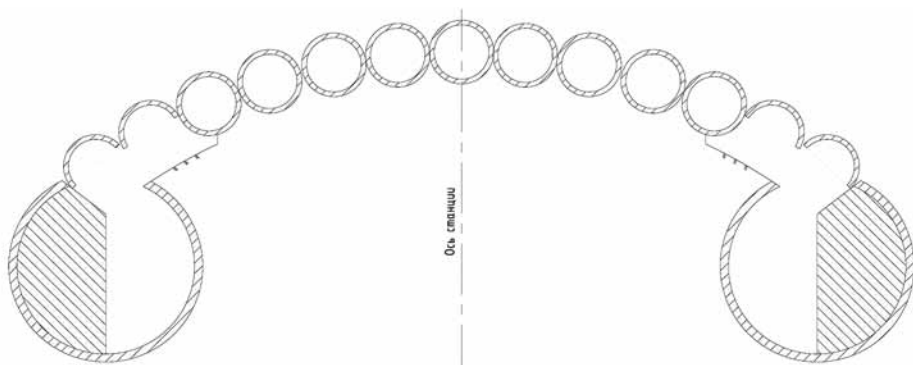
1. На данном этапе осуществлена инженерная подготовка территории, выполнены (при необходимости) мероприятия по закреплению грунтов и устройству противофильтрационных завес. Разработан и подготовлен котлован, в котором будет осу-



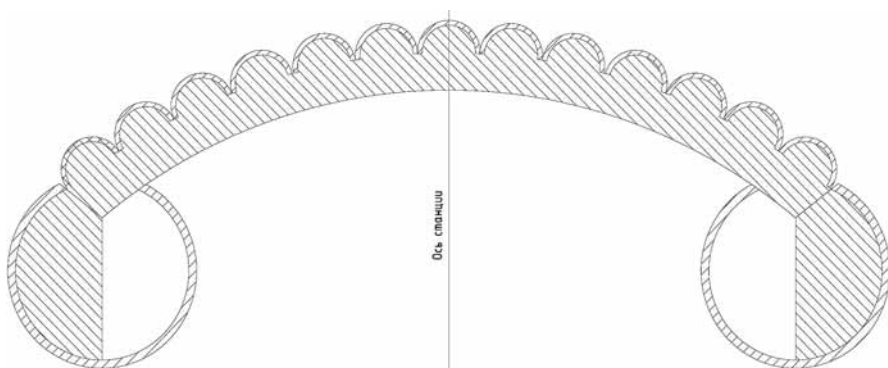
щественна смена оси проходки тоннелей ТПМК и подготовлены упоры для устройства труб защитного экрана методом микротоннелирования.

2. Механизированными тоннелепроходческими комплексами выполняется проходка вспомогательных тоннелей для последующего устройства в них устоев свода станционного комплекса. Стартуют работы по устройству труб защитного экрана методом микротоннелирования.

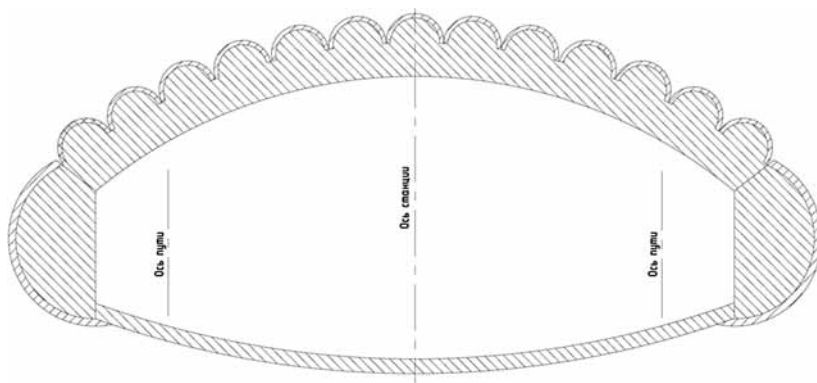
3. После проходки тоннелей ТПМК (около месяца на тоннель) и возвращения их на ось перегонных тоннелей приступают к работам по устройству монолитных железобетонных устоев для опирания свода постоянных конструкций станционного комплекса. Одновременно, в местах устройства поперечных штолен, приступают к демонтажу внутренних (со стороны станции) элементов тоннельной обделки и проходке штолен.



4. В местах пересечения штолен с трубами защитного экрана демонтируется нижняя часть труб. В штольнях и трубах экрана устраиваются арматурные каркасы и выполняются бетонные работы.



5. После набора бетоном ригеля и труб свода 100 % прочности приступают к разработке грунта тела станции, одновременно, по мере разработки, устраивая обратный свод.



6. Далее приступают к возведению внутренних конструкций станции.

Выводы

Таким образом, полукрытый способ строительства с применением защитного экрана из труб, устраиваемого методом микротоннелирования, позволяет достичь следующих целей.

1. Исчезает необходимость длительного нарушения или полного прекращения действия системы городского трафика (нет необходимости устраивать покрытие будущей станции методом ОСР из неглубокого котлована).

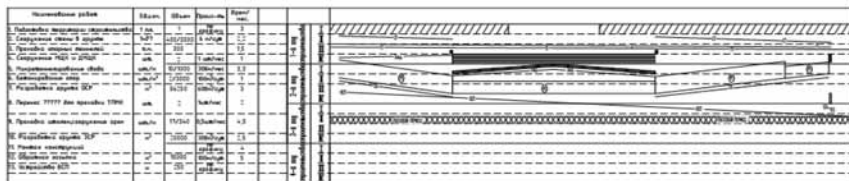
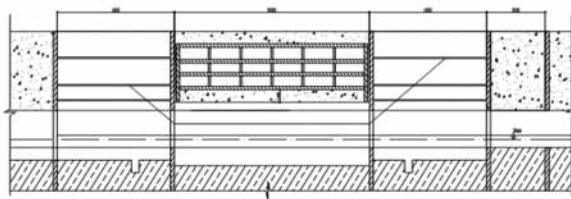


График строительства станции В05 Бакинского метрополитена с применением защитного экрана из труб, устраиваемых методом микротоннелирования

2. Для реализации данного метода необходимо два сравнительно небольших котлована (~30×30 м) до и после станционного комплекса, расположение которых можно регулировать объёмно-планировочными решениями, что позволяет исключить снос существующих зданий и сооружений в том числе находящихся под землёй (паркинги, тоннели, существующие линии метрополитена и др.).

3. Использование защитного экрана, позволяет производить работы вблизи от поверхности или существующих зданий и сооружений (~2 м). Так же возможно устройство пересадочных узлов с действующими линиями метрополитенов авто и ж/д вокзалов без прекращения функционирования последних и необходимости устройства больших стройплощадок.

4. Станции мелкого заложения позволяют сократить время поездки пассажиров.

5. Условия строительства станций данным методом представляют меньшую опасность, нежели традиционные способы строительства.

Компьютерная вёрстка
С. А. Славин

Рекламно-издательский центр Тоннельной ассоциации России

ООО «МЕТРО И ТОННЕЛИ»

+7 (495) 981-80-71

e-mail: metrotunnels@gmail.com