

# Подземные горизонты

*Underground Horizons*

Декабрь

№35

2023

www.techninform-press.ru

## АТЛАНТ грунтовые анкера

www.anker-system.ru  
info@anker-system.ru  
+7 342 258 42 02

MALININ  
GROUP



АНКЕРНЫЕ  
СИСТЕМЫ

ТОННЕЛИ

Путь на восток



Стр. 8

МЕТРОПОЛИТЕНЫ

Сергей Жуков о достижениях и задачах  
Мосметростроя



Стр. 24

СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

Решение экологических проблем при  
строительстве городских подземных сооружений



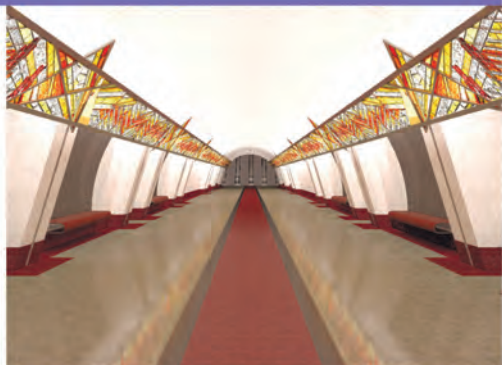
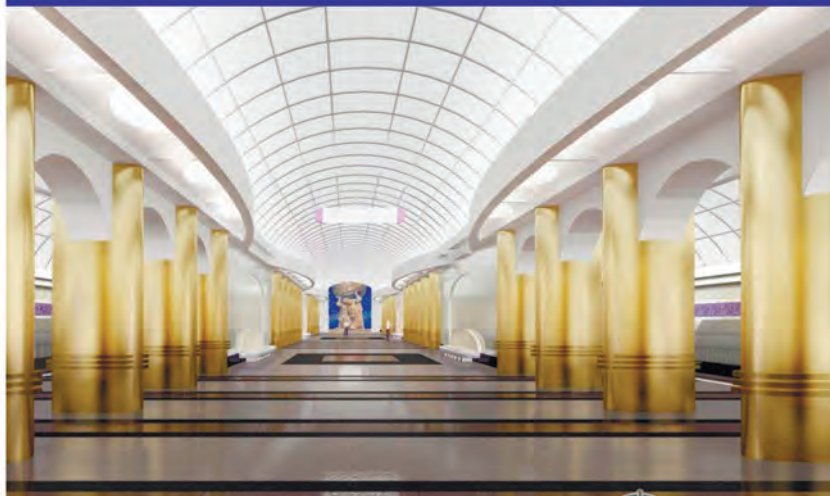
Стр. 34



ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНС

Научно-исследовательский,  
проектно-изыскательский институт

Комплексное проектирование метрополитенов, железнодорожных и автодорожных тоннелей и объектов их инфраструктуры, включая инженерные изыскания и архитектуру, функции генерального проектировщика, а также научно-исследовательские работы по сопровождению проектов.



## ПРОЕКТЫ ДЛЯ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА





## ПРОЕКТЫ ДЛЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА



191002, Санкт-Петербург,  
ул. Большая Московская д.2  
Тел: +7 (812) 316-20-22

[www.lmgt.ru](http://www.lmgt.ru)



## Журнал «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

Официальный информационный партнер:

- Комитета по освоению подземного пространства НОСТРОЙ
- Объединения подземных строителей и проектировщиков
- Международной Ассоциации Фундаментостроителей

### №35 декабрь/2023

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77-57244 от 12.03.2014

Учредитель **Регина Фомина**

Издатель **ООО «Техинформ»**

Генеральный директор **Полина Богданова**

#### РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор:

**Регина Фомина** ([info@techinform-press.ru](mailto:info@techinform-press.ru))

Выпускающий редактор:

**Сергей Зубарев** ([sz-fsr@yandex.ru](mailto:sz-fsr@yandex.ru))

Дизайнер, бильд-редактор

**Лидия Шундалова** ([art@techinform-press.ru](mailto:art@techinform-press.ru))

Руководитель службы информации

**Людмила Ковалевич**

[kovalevichl@mail.ru](mailto:kovalevichl@mail.ru)

Корректор:

**Инна Спиридонова**

#### ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

**В.Н. Александров**, Почетный гражданин Санкт-Петербурга

**С.Н. Алпатов**, генеральный директор Объединения подземных строителей и проектировщиков, президент Российского общества по внедрению бестраншейных технологий

**Андреа Беллоккьо**, руководитель проектов компании Rocksoil S.p.A (Италия)

**А.И. Брейдбурд**, президент МАС ГНБ, генеральный директор ООО «Нефтегазспецстрой»/ГК «ЮНИРУС»

**В. А. Гарбер**, д.т.н., главный научный сотрудник НИЦ «Тоннели и метрополитены» АО «ЦНИИС»

**С.В. Кидяев**, первый вице-президент АО «Объединение «ИНГЕОКОМ»

**А.П. Ледяев**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Тоннели и метрополитены»

**К. Н. Матвеев**, председатель правления Общероссийской общественной организации «Тоннельная ассоциация России» (ТАР), первый заместитель генерального директора АО «Мосинжпроект»

**М.Е. Рыжевский**, к.т.н., президент компании MTR Ltd

**В.М. Улицкий**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Основания и фундаменты» ПГУПС Императора Александра I

**А.Г. Шашкин**, генеральный директор ООО «ПИ «Георекострукция», доктор геолого-минералогических наук, член президиума РОМГГиФ, член Совета по сохранению и развитию территорий исторического центра Санкт-Петербурга, координатор Санкт-Петербургской комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям

Тел.: (812) 905-94-36, +7-931-256-95-77, +7-921-973-76-44

[office@techinform-press.ru](mailto:office@techinform-press.ru)

[www.techinform-press.ru](http://www.techinform-press.ru)

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.

Отпечатано в типографии ««Премиум Пресс», г. Санкт-Петербург,

ул. Оптиков, д. 4

[www.premium-press.ru](http://www.premium-press.ru)

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Сертификаты и лицензии на рекламируемую продукцию

и услуги обеспечиваются рекламодателем. Любое использование

опубликованных материалов допускается только с разрешения редакции.

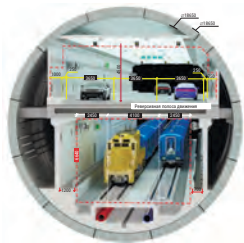
Информационное сотрудничество: Интернет-портал [undergroundexpert.info](http://undergroundexpert.info)

Подписку на журнал можно оформить по телефону

**+7 (931)-256-95-77** и на сайте [www.techinform-press.ru](http://www.techinform-press.ru)



## СОДЕРЖАНИЕ



СТР. 4–5



СТР. 6–10



СТР. 11–13



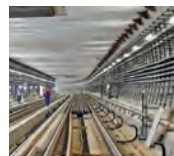
СТР. 14–17

### ТОННЕЛИ

- 4 *М. Е. Рыжевский, З. Р. Багаутдинов*  
Стратегический тоннель в Крыму. Миссия выполнима, если необходима
- 6 Путь на Восток
- 11 *В. А. Гарбер.*  
От ручного труда – до автоматизированной щитовой проходки

### МЕТРОПОЛИТЕНЫ

- 14 *И. А. Сиваков, Е. В. Симаков*  
Ленметрогипротранс на пути автоматизации и цифровизации



СТР. 18–23



СТР. 24–27



СТР. 32–33



СТР. 34–38

- 18 *М. О. Лебедев.* Безопасность строительства двухпутного тоннеля метро в четвертичных отложениях

- 24 Сергей Жуков о достижениях и задачах Мосметростроя

### СТРОИТЕЛЬНЫЙ ПРАКТИКУМ

- 28 *П. Ю. Крутов.* Комплексные системы защиты железобетона
- 32 *А. С. Орлов.* «ТЕПЛОТОР» – комплексная теплоизоляция нового поколения
- 34 *Л. В. Маковский, В. В. Кравченко.* Решение экологических проблем при строительстве городских подземных сооружений

# СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ТОННЕЛЬ В КРЫМ. МИССИЯ ВЫПОЛНИМА, ЕСЛИ НЕОБХОДИМА

М. Е. РЫЖЕВСКИЙ,  
к. т. н., лауреат премии Комсомола в области науки и техники,  
заслуженный изобретатель СССР;  
З. Р. БАГАУТДИНОВ,  
главный инженер

*ПРИ ВОССОЕДИНЕНИИ КРЫМА С РОССИЕЙ ДАВНЯЯ ИДЕЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОСТОЯННОГО ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА ЧЕРЕЗ КЕРЧЕНСКИЙ ПРОЛИВ АКТУАЛИЗИРОВАЛАСЬ КАК СТРАТЕГИЧЕСКАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ. ПОМИМО МОСТА, ИЗНАЧАЛЬНО ОБСУЖДАЛСЯ И ПОДВОДНЫЙ ТОННЕЛЬ. С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭТОГО ВАРИАНТА ПРЕДСТАВЛЯЕТСЯ ВПОЛНЕ ОСУЩЕСТВИМОЙ И, С УЧЕТОМ СОБЫТИЙ ПОСЛЕДНЕГО ВРЕМЕНИ, НЕ ПОТЕРЯВШЕЙ СВОЕЙ АКТУАЛЬНОСТИ.*

## ВВЕДЕНИЕ

Первые разговоры о необходимости постоянной транспортной переправы, соединяющей Керченский и Таманский полуострова, начались еще в прошлом веке. Первую попытку построить такой переход предприняли во время Великой Отечественной войны. Эти работы не увенчались успехом, и полупостроенный мост был разрушен. Уже после войны переговоры с Украинской ССР,

а потом и с независимым государством Украина, велись неоднократно. Но все они заканчивались ничем. И вот, годы спустя, когда Крым вновь вернулся к родным берегам, то есть в Россию, вопрос о строительстве перехода возник вновь и уже стал стратегической необходимостью.

В тот момент времени мост рассматривался как главный тип переправы. Вариантов предлагалось много: двухуровневый мост с автодорожным и железнодорожным транспортом, а также два параллельных моста. Тоннельный вариант перехода рассматривался лишь вскользь. Тогда авторы этой статьи, однако, не раз предлагали оценить преимущества такой переправы (см. журнал «Подземные горизонты», номера за апрель и октябрь 2014 года, март 2015 года). Мы четко, даже самим названием первой публикации — «Керченский тоннель — залог стратегической безопасности Крыма», — хотели обратить внимание на главные плюсы подводного транспортного перехода, такие как безопасность в отношении террористических угроз, климатических катаклизмов, обеспечения непрерывного судоходства.

Теперь, по прошествии почти десяти лет, все наши опасения подтвердились. Мост уже был атакован и поврежден террористами, его не раз временно закрывали во время штормов в проливе, судоходство неоднократно нарушалось по тем или иным причинам. И, видимо, в связи с этим вновь стал обсуждаться вопрос о необходимости альтернативной, тоннельной переправы.

*РАНЕЕ АВТОРЫ ЭТОЙ СТАТЬИ НЕ РАЗ ПРЕДЛАГАЛИ ОЦЕНИТЬ ПРЕИМУЩЕСТВА ТОННЕЛЬНОЙ ПЕРЕПРАВЫ (СМ. ЖУРНАЛ «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ», НОМЕРА ЗА АПРЕЛЬ И ОКТЯБРЬ 2014 ГОДА, МАРТ 2015 ГОДА). ДАЖЕ САМИМ НАЗВАНИЕМ ПЕРВОЙ ПУБЛИКАЦИИ — «КЕРЧЕНСКИЙ ТОННЕЛЬ — ЗАЛОГ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КРЫМА», — ХОТЕЛИ ОБРАТИТЬ ВНИМАНИЕ НА ГЛАВНЫЕ ПЛЮСЫ ПОДВОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПЕРЕХОДА, ТАКИЕ КАК БЕЗОПАСНОСТЬ В ОТНОШЕНИИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ УГРОЗ, КЛИМАТИЧЕСКИХ КАТАКЛИЗМОВ, ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПРЕРЫВНОГО СУДОХОДСТВА.*

## ЧТО ИЗМЕНИЛОСЬ И ЧТО ДЕЛАТЬ?

А что действительно изменилось за десять лет? Согласитесь, многое. Мостовой переход уже существует, работает и, как следствие, его необходимо не только обслуживать, но и защищать от атак с воды, суши и воздуха. Несмотря на то, что мост оказался великолепной переправой для автодорожного и железнодорожного транспорта и стал визитной карточкой Крыма, образцом инженерных сооружений и превосходным детищем российских инженеров, он слишком уязвим, причем не только в сегодняшних конкретных условиях.

Террористические атаки уже дважды приводили к разрушению мостовых строений. Экстремальные погодные условия также не раз становились причиной остановки движения. Защита сооружения от этих угроз требует много сил и средств. Ограничения судоходства под мостовыми переходами дополнительно являются причиной экономических потерь государства и бизнеса. Многие считают, что военные действия ведь рано или поздно закончатся, и тогда все будет в порядке. Это иллюзия. Мир еще не скоро (может быть, никогда) избавится от терроризма, а уж погодные условия вряд ли улучшатся в ближайшие столетия.

Что же делать? Искать альтернативные варианты и создавать дублирующие и более защищенные транспортные переходы! И таким решением является тоннель, который не придется оборонять ни с воздуха, ни с воды и только ограниченно — с суши (входной и вы-

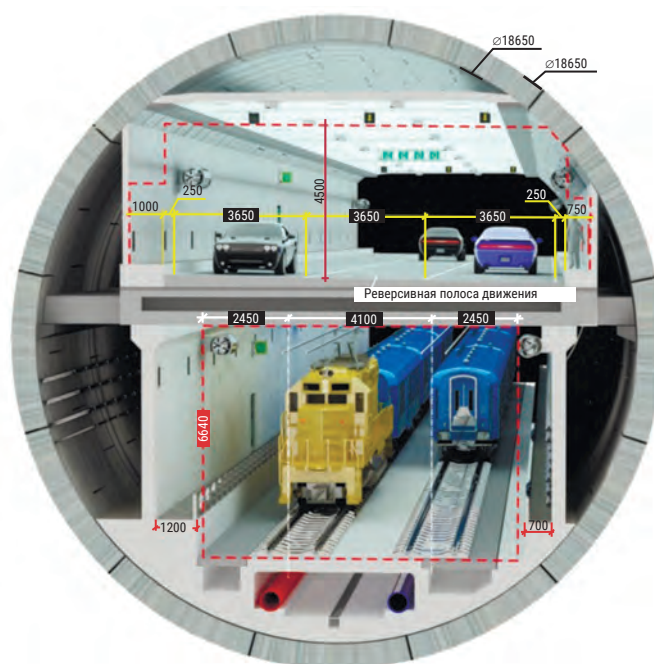


Рис. 1. Один двухуровневый тоннель с совмещенным автодорожным и железнодорожным движением

ходной порталы). Ранее, до возведения моста, авторы статьи предлагали несколько вариантов строительства комбинированного тоннельного перехода с движением по одному тоннелю в разных уровнях автомобильного и железнодорожного транспорта (рис. 1) или двух также двухуровневых тоннелей (рис. 2).

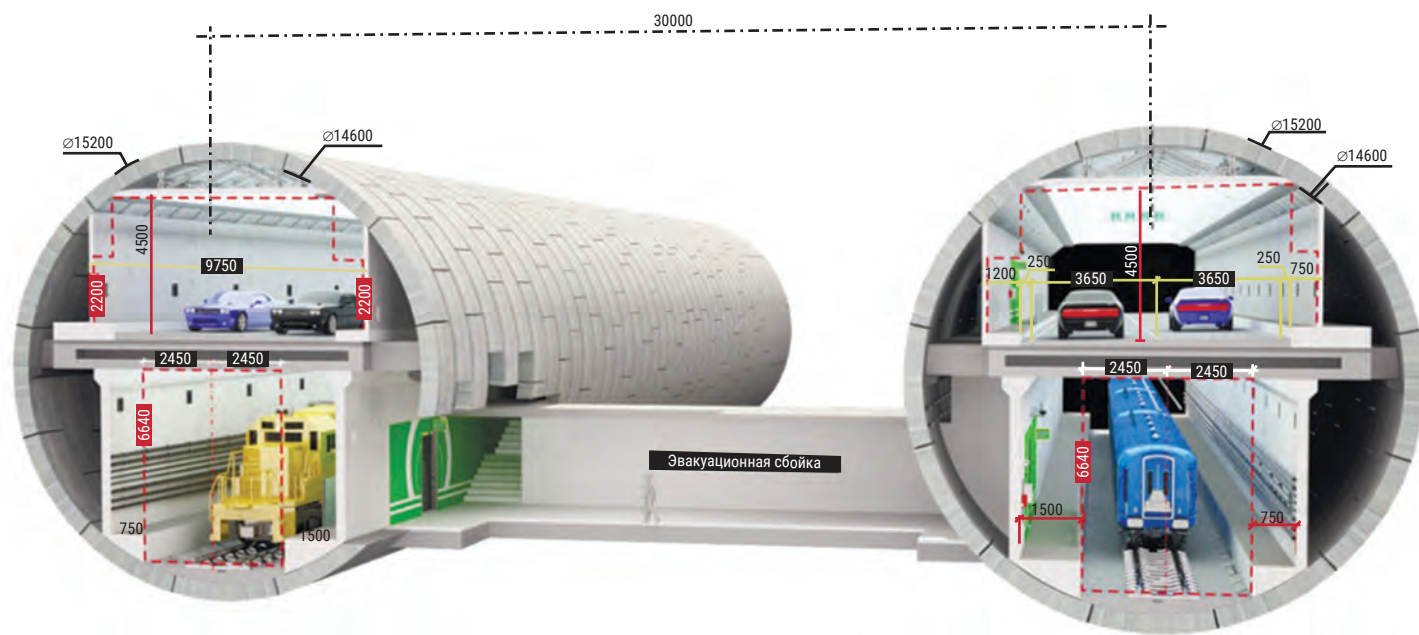


Рис. 2. Два двухуровневых тоннеля с совмещенным автодорожным и железнодорожным движением

С официальным решением о мостовом переходе необходимость научно-технической проработки тоннельных вариантов отпала. Мост уже построен, успешно работает и полностью справляется с транспортной нагрузкой. В настоящее время увеличение трафика не предполагается. Единственным стратегически важным требованием остается обеспечение непрерывного и безопасного движения транспорта в чрезвычайных ситуациях, когда по тем или иным причинам конструкции моста могут быть повреждены или разрушены, и потребуются значительное время для их восстановления. Исходя только из этой проблемы, однако, проектировать и строить альтернативный полноценный переход необходимости нет. Но для обеспечения безопасности Крыма в целом, по идее, все-таки требуется вторая, более надежная переправа для своевременной доставки на полуостров

стратегических грузов. Таким транспортным переходом может стать тоннель.

## КАКОЙ ЖЕ ТОННЕЛЬ СТРОИТЬ?

По мнению авторов, это должен быть однопутный железнодорожный тоннель или два параллельных однопутных железнодорожных тоннеля (рис. 3).

Именно железнодорожный транспорт может обеспечить быструю переброску и доставку стратегического сырья, материалов и практически любого вида оборудования. Кроме того, при крайней необходимости могут быть быстро сформированы специальные составы для доставки на полуостров людей и оборудования гражданского назначения.

Тоннель должен быть спроектирован с полным соблюдением всех необходимых габаритов для современных транспортных составов, включая электролокомотивы и тепловозы, а также цистерны и другие емкости для перевозки самых разных жидких или сыпучих веществ. Кроме того, при проектировании и строительстве должны быть соблюдены требования к:

- вентиляции (обеспечение достаточного воздухообмена для предотвращения накопления вредных газов);
- водоотведению (системы для предотвращения накопления воды в тоннеле и защиты от наводнений);
- водоснабжению и освещению (обеспечение стабильного водоснабжения и эффективной осветительной системы для безопасности движущегося состава и людей);
- электроснабжению и связи (надежные системы электроснабжения и связи для поддержания функциональности тоннеля и безопасности людей);
- мерам безопасности (установка систем пожаротушения, аварийного освещения и спасательного оборудования).

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Это, однако, стандартно нормируемые условия строительства обычных тоннельных объектов. Подводный переход в Крым, предполагаемый как тоннель специального назначения, также обязан отвечать и дополнительным требованиям, таким как:

1. Усиленная безопасность входов и выходов (контроль доступа и охрана входов и выходов из тоннеля помогают предотвратить несанкционированный доступ и обеспечивают базовую защиту).
2. Использование новейших сверхпрочных взрывоустойчивых материалов в отделке тоннеля и его вну-

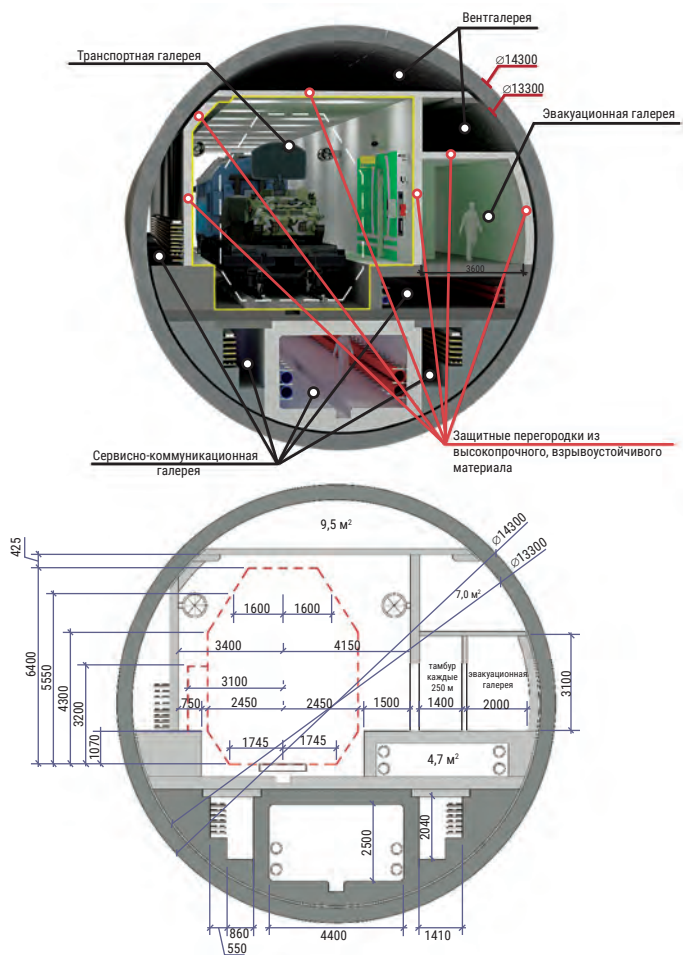


Рис. 3. Однопутный железнодорожный тоннель специального назначения



тренних конструкций (использование высокопрочных и взрывостойких материалов при строительстве тоннеля увеличивает его устойчивость к взрывным устройствам и другим формам атак).

3. Установка системы видеонаблюдения и сенсоров безопасности (установка камер видеонаблюдения и датчиков движения, дыма, тепла и химических веществ помогает оперативно обнаруживать угрозы и реагировать на них).

4. Установка автоматизированных систем управления безопасностью (интегрированные системы управления, которые могут автоматически блокировать доступ, управлять эвакуацией и сигнализировать о чрезвычайных ситуациях).

5. Разработка эффективных планов эвакуации и спасения (наличие четких и хорошо проработанных планов эвакуации, включая аварийные выходы, безопасные зоны и инструкции для персонала и лиц, сопровождающих составы).

6. Проведение регулярных тренировок и учений с персоналом, обслуживающим тоннель (для отработки действий в случае террористической атаки и других чрезвычайных ситуаций).

7. Обслуживающий персонал должен иметь все системы обнаружения и нейтрализации опасных веществ (установка детекторов химических, биологических, радиологических и ядерных веществ для быстрого обнаружения и нейтрализации угроз).

8. Технический персонал должен иметь устройства для срочной связи с правоохранительными органами (плотное взаимодействие с местными и федеральными правоохранительными органами для обмена информацией и координации действий в случае угрозы).

9. Все системы управления тоннелем должны иметь устойчивость к кибератакам (защита систем управления тоннелем от кибератак через использование передовых методов кибербезопасности).

10. Регулярное проведение технического обслуживания и инспекций в тоннеле (постоянное техническое обслуживание и инспекции для обеспечения исправности всех систем безопасности).

Реализация этих принципов поможет создать многоуровневую систему защиты, способную эффективно противостоять различным формам террористических угроз.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Эта статья представляет собой краткий обзор ключевых аспектов, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве подводного тоннеля. Такие проекты требуют мультидисциплинарного подхода и тщательного планирования для обеспечения безопасности, эффективности и долговечности создаваемого сооружения. ■**





## ПУТЬ НА ВОСТОК

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ — ОДИН ИЗ КЛЮЧЕВЫХ ПРОЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ. ИЗНАЧАЛЬНЫЕ МОЩНОСТИ БАМА И ТРАНССИБА НЕ СООТВЕТСТВУЮТ РАСТУЩЕМУ ОБЪЕМУ ПЕРЕВОЗОК, ПОЭТОМУ РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПОЗВОЛИТ УВЕЛИЧИТЬ ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ ВАЖНЕЙШИХ МАГИСТРАЛЕЙ. В СЛЕДУЮЩЕМ ГОДУ ПЛАНИРУЕТСЯ ЗАВЕРШИТЬ УЖЕ ВТОРОЙ ЭТАП МАСШТАБНОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ, РЕЗУЛЬТАТОМ ЧЕГО СТАНЕТ РОСТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БАМА ДО 180 МЛН Т.

**Б**ольшее половины всех работ по расширению узких мест БАМа входит в зону ответственности дивизиона «Железные дороги» холдинга «Нацпроектстрой». Строителям предстоит проложить свыше 1000 км вторых путей на 109 перегонах — это почти треть

всей Байкало-Амурской магистрали, — и соорудить порядка 900 мостов и водопропускных труб.

Особое место среди искусственных сооружений Восточного полигона занимает новый Керакский тоннель, старт движению по которому в декабре дал Президент России Владимир Путин.

«НАЦПРОЕКТСТРОЙ» — КРУПНЕЙШИЙ РОССИЙСКИЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ХОЛДИНГ ПОЛНОГО ЦИКЛА. ОБЪЕДИНЯЕТ УНИКАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЕТЕНЦИИ В СФЕРЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА, ЭКСПЛУАТАЦИИ И ФИНАНСИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ. В ЕГО СОСТАВЕ НА ОСНОВЕ АО «ДОРОГИ И МОСТЫ», ГРУППЫ КОМПАНИЙ 1520 И ГРУППЫ КОМПАНИЙ «ТЭК МОСЭНЕРГО» ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫДЕЛЕНА ТРИ ДИВИЗИОНА: «ДОРОГИ И МОСТЫ», «ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» И «ЭНЕРГЕТИКА И ПОРТЫ».

### БАМ — МАГИСТРАЛЬ МОСТОВ

Байкало-Амурская магистраль — важнейшая транспортная артерия Восточной Сибири и Дальнего Востока. Трасса протяженностью 4,3 тыс. км обеспечивает железнодорожный выход России к Тихому океану.

При этом практически каждый километровый отрезок БАМа пересекает ручей или реку. Поэтому отличительная черта магистрали — большое количество искусственных сооружений.

Так, строителям подрядных компаний «Бамстроймеханизация» и «Мостострой-11» (входят в Нацпроектстрой)



Строительство мостов под вторые пути на БАМе

необходимо возвести под вторые пути более 400 мостов, до десяти штук на одном перегоне.

Самый протяженный из новых переправ — через реку Нюкжу в Амурской области. Металлический мост на участке Хани — Тында состоит из пяти пролетов, его длина составляет 392 м.

Новые мосты БАМа рассчитаны на пропуск тяжеловесных поездов (весом до 7,1 тыс. т), могут прослужить в суровых климатических условиях до 100 лет и соответствуют современным требованиям и нагрузкам. Для изготовления мостовых конструкций Мостострой-11 выбирает сталь 10ХСНД и 15ХСНД, которую можно при-



Строительство моста через реку Нюкжа

менять в северных климатических условиях при температурах до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Конструкции для мостов поставляются со всей России. Опорные части производят в Перми, болты — в Кургане, пролетные строения прибывают из Тюмени, Омска, Улан-Удэ, железобетонные конструкции — из Тынды, Хабаровска, Комсомольска-на-Амуре, Санкт-Петербурга.



Мост на линии Хани — Тында

## СТРОИТЕЛЬНАЯ ЗАДАЧА СО ЗВЕЗДОЧКОЙ

Географическое положение Восточного полигона создает ряд непростых условий для строительства: транспортная изолированность, болотистая местность, районы вечной мерзлоты и высокой сейсмичности (до 9 баллов), сложная гидрология, перепады высот и неблагоприятный климат.

Как отмечают в компании «Мостострой-11», одна из серьезных проблем, связанных с возведением искусственных сооружений в географически удаленных от Большой земли районах, — затрудненная логистика.

Например, завезти строительные материалы на «островные» объекты, где нет прямого автодорожного сообщения, можно только по зимнику. Для этого подготовить и укомплектовать все нужно заранее.

Однако и в зимний период в местах с гористой местностью могут возникать проблемы: груженный автотранспорт не справляется с подъемом на перевалы по скользкой дороге и на время может застрять в пути.

Кроме того, в районах, удаленных от промышленных центров, крайне сложно найти местных производителей для поставки необходимых материалов и конструкций, а также запчастей для строительной техники.

Бывает трудно спрогнозировать, какие проблемы, связанные с технологической стороной вопроса, могут возникнуть в процессе строительства. Оперативно и квалифицированно устранить поломку оборудования на удаленных объектах — задача непростая. Поэтому заботе о технике и бережному к ней отношению уделяется пристальное внимание.

На удаленных объектах важно правильно организовать строительный процесс: первыми к работам должны приступить дорожники и энергетики. Они вырубают лес, переносят инженерные коммуникации, проклады-

## ТОННЕЛИ

вают дороги и отсыпают площадки, а уже потом разворачивается непосредственно стройка.

Суровый климат тоже преподносит строителям сюрпризы в виде незапланированных активированных дней, когда из-за погодных условий просто запрещено проводить работы.

На некоторых участках температура по несколько месяцев может держаться на отметке ниже  $-47^{\circ}\text{C}$ . На этот период людей и технику переводят на другие направления, где зима мягче и проходит быстрее.

### НОВЫЙ КЕРАКСКИЙ ТОННЕЛЬ: БОЛЬШЕ МОЩНОСТИ ДЛЯ ТРАНССИБА

Транссибирская магистраль — крупнейшая в мире железнодорожная артерия. По этой дороге перевозится более 50% внешнеторговых и транзитных грузов. На востоке Транссиб обеспечивает транспортный коридор к Северной Корее, Китаю и Монголии.

Одним из «узких» мест Транссиба был старый Керакский тоннель на перегоне Ульручьи — Ковали. Его возвели еще в 1910-1913 гг. После многолетней эксплуатации тоннель не отвечал современным требованиям по безопасности и пропускной способности. Составы шли здесь со сниженной скоростью.



Строительство Керакского тоннеля



Открытие движения в Керакском тоннеле

Решением вопроса стало строительство нового Керакского тоннеля. Объект возвели с опережением срока — на 9 месяцев раньше планового! Генеральным подрядчиком выступила Бамстроймеханизация.

Работы велись в непростых условиях: тоннель расположен в сейсмоактивной зоне с обводненными грунтами, здесь проходят два геологических разлома.

Проходка тоннеля заняла 11 месяцев. С восточного портала из-за высокой крепости скальных пород ее вели буровзрывным способом, с западного — с помощью горного экскаватора. Объем переработанного грунта составил 1 млн кубометров.

В новом тоннеле вместе с подходами строители уложили больше 2 км рельсошпальной решетки под два пути. Чтобы снизить динамическое воздействие поездов на своды сооружения, применили инновационную технологию.

Рельсовые плети монтировали на конструкцию из бетонной полушпалы, резинового чехла, виброгасящей подкладки. Такая система увеличивает срок службы тоннеля и обеспечивает плавность и бесшумность хода составов. Упрощается и обслуживание: при необходимости ремонта пути уже не требуются большие «окна».

За состоянием тоннеля следят современные системы мониторинга. Более 700 датчиков контролируют температуру, влажность, пожарную безопасность и освещение. В тоннеле проложено 60 видов кабелей общей длиной 70 км.

Длина нового тоннеля составила 926 м, он стал самым протяженным на Забайкальской железной дороге. Открытие Керакского тоннеля позволяет увеличить пропускную способность перегона Транссиба Ковали — Ульручьи до 153 пар поездов в сутки.■

*За содействие в подготовке публикации редакция благодарит департамент коммуникаций Группы Компаний 1520*



## ОТ РУЧНОГО ТРУДА – ДО АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКИ

В. А. ГАРБЕР,  
д. т. н. (НИЦ «ТМ» АО «ЦНИИТС»)

*В СТАТЬЕ ИДЕТ РЕЧЬ ТОЛЬКО О ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТАХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ. ОПИСЫВАЕТСЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО РУЧНОГО ТЯЖЕЛОГО ТРУДА В ЗАБОЕ ДО СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЩИТОВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОХОДКИ ТОННЕЛЕЙ.*

### СПОСОБЫ И СОСТАВ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ

Перечислим способы проходки тоннелей и состав горнопроходческих работ [1, 2].

Способы проходки:

- буровзрывной способ (БВР);
- горный способ с применением ГПК (комбайны);
- горный способ (новоавстрийский тоннельный метод, NATM);
- щитовая немеханизированная проходка;
- механизированные щиты (без пригруза забоя);
- механизированные щиты с забойным пригрузом;
- безлюдная проходка (механизированные щиты без людей в забое; управление оператором);
- бесщитовая (эректорная) проходка.

Горнопроходческие работы подразделяются на основные и вспомогательные.

Основные работы:

- разрушение горных пород;

- погрузка породы в транспортные средства;
- возведение постоянной крепи.

Вспомогательные работы:

- монтаж проходческого оборудования;
- шахтная вентиляция;
- водоотлив;
- транспорт;
- возведение временной крепи;
- транспортирование породы;
- доставка оборудования и материалов.

Рассмотрим этапы развития горной техники и технологий:

### ПЕРИОДЫ ЭВОЛЮЦИИ В ОСВОЕНИИ НЕДР ЗЕМЛИ

По этапам развития горной техники и технологий (согласно трудам академика К. Н. Трубецкого) выделяются три эпохи эволюции в освоении недр Земли:

- эпоха горных орудий (каменные орудия; металлические горные орудия (медь, бронза, железо), в различ-

ных вариациях, период от 2,5 млн лет до н. э. до XVI века н. э.;

■ эпоха горных машин (машины на гидроэнергии; паровые машины; высокопроизводительные горные машины с ДВС и электродвигателями), в различных вариациях, период до середины XX века;

■ эпоха автоматизации процессов горного производства (автоматизированные комплексы горных машин; буровые установки сверхглубокого бурения; морское горнодобывающее оборудование; циклично-поточное и поточное производство).

Начальный период развития горной техники связан с использованием мускульной силы человека и животного, а затем энергии ветра и воды. Повсеместное распространение с VI-VIII вв. получил водяной двигатель.

Использование пороха в горном деле с начала XVII века дало мощное средство для разрушения горных пород.

В 1814 году британский инженер французского происхождения Марк Брюнель запатентовал проходческий щит — сборную подвижную металлическую конструкцию, которая обеспечивала безопасное проведение горной выработки.

Эпоха автоматизации длится с 50-х гг. XX века по настоящее время. Развитие техники обуславливает совершенствование технологии, которая, в свою очередь, влияет на параметры техники.

## ИЗ ИСТОРИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Поскольку данная статья посвящена строительству транспортных тоннелей, приведем наиболее известные из технической литературы примеры их сооружения.

Первый железнодорожный тоннель длиной 1190 м был построен в 1826-1830 гг. в Англии на линии Ливерпуль — Манчестер.

Открытие пироксилина (1845 год) и динамита (1866 год), а также успешное применение в горном деле бурильных машин ударно-поворотного действия (1851 год), произвело технический переворот в тоннелестроении и сделало возможным сооружение больших альпийских тоннелей между Францией, Италией и Швейцарией. До начала Первой мировой войны было построено 26 тоннелей длиной более 5 км каждый, в том числе самый протяженный на тот период Симплонский тоннель длиной почти 20 км.

В эпоху автоматизации тоннелестроения, если не учитывать линии метрополитена, самыми длинными транспортными тоннелями являются также железнодорожные. В 1988 году рекордсменом стал тоннель

Сэйкан в Японии длиной 53,85 км с подводным фрагментом в 23,3 км.

В России самым длинным является Северомуйский тоннель Байкало-Амурской магистрали длиной 15,3 км, сданный в 2003 году.

На сегодняшний день рекорд по протяженности установлен Готардским базисным тоннелем (Швейцария, более 57 км), достроенным в 2016 году.

## БЕЗЛЮДНАЯ ПРОХОДКА ТОННЕЛЕЙ

Рассмотрим современные достижения по автоматизации горнопроходческих работ.

К безлюдной щитовой проходке можно отнести технологию микротоннелирования. Это строительство с помощью дистанционного управления с установками, в данном случае также называемыми тоннелепроходческими щитами. Длина такого тоннеля составляет от 100 до 300 м.

Рабочая головка тоннелепроходческого щита снабжена системой зубьев, кулаков и дробильных выступов. Она перерабатывает грунт и, таким образом, бурит отверстие, через которое будет прокладываться трасса. Способ микротоннелирования применяется для сооружения транспортных тоннелей под автомобильными и железными дорогами, а также для прокладки тоннелей под жилой и промышленной застройкой.

В целом для понимания проблемы возможной автоматизации работ по щитовой безлюдной проходке тоннелей необходимо подробно структурировать процесс щитового способа строительства (рис. 1).

Элементами, в которых заложена возможность автоматизации, являются: компоненты конструкции проходческого щита (ножевое кольцо, опорное кольцо, оболочка); типы механизированных щитов с пригрузом (воздушный пригруз, грунтопригруз, гидропригруз), а также технология проходки с устройством обделки.

Перечисленные элементы для их использования при создании системы безлюдной (автоматизированной) проходки должны быть оснащены соответствующими датчиками, компьютерами со специальным программным обеспечением и необходимым интерфейсом.

При создании системы автоматизированной (безлюдной) проходки следует использовать опыт автоматизации производственных процессов на горных предприятиях [3]. Рассмотрим эти технологические достижения.

Гидравлическая механизированная крепь представляет собой большое количество (до нескольких сотен) рассредоточенных контролируемых и управляемых секций. В их составе функционирует по несколько сосре-

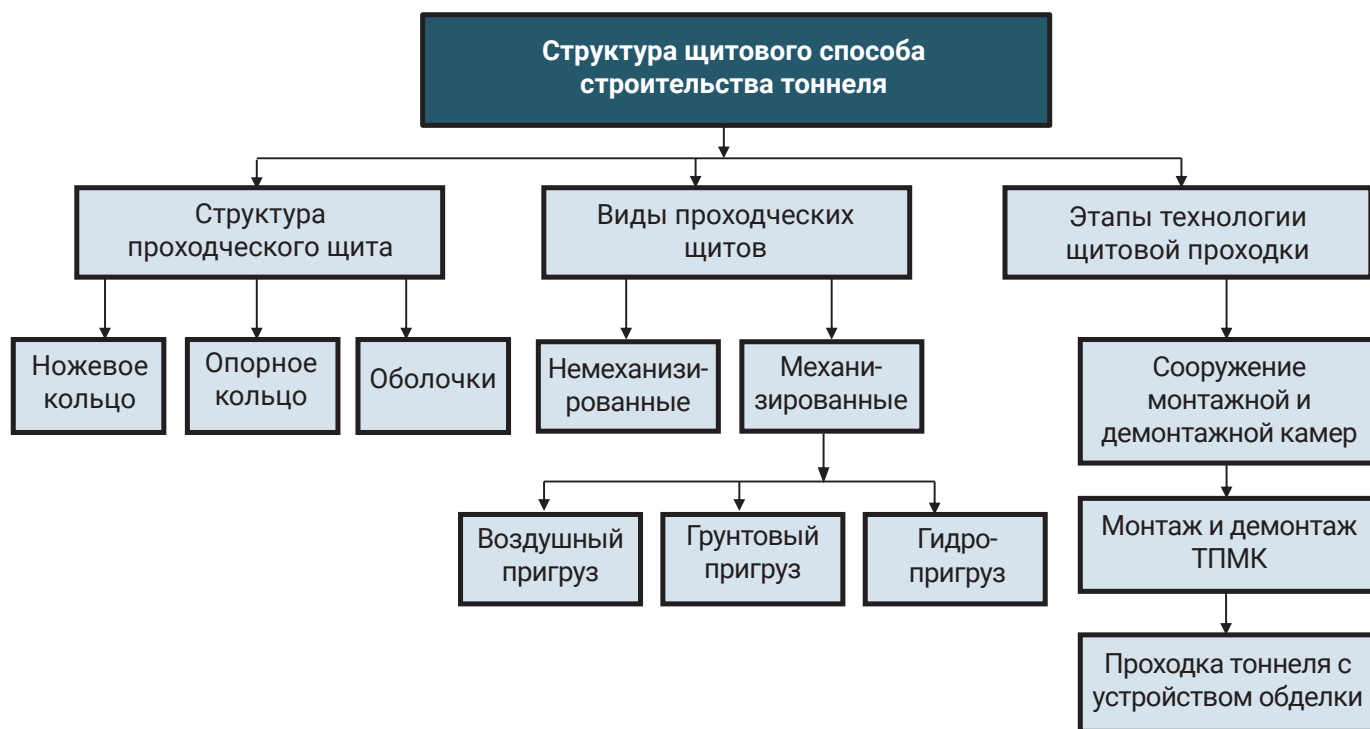


Рис. 1. Структура щитового способа строительства тоннеля

точных объектов (электрогидроклапаны и датчики). Поэтому для управления крепи нужны соответствующие надежные телемеханические системы.

Начиная с 60-х годов XX века, на отечественных угольных предприятиях накоплен большой опыт эксплуатации автоматизированных комплексов: КМ 87А, КПК-1 и крепи М87ДГА.

Здесь следует рассмотреть также автоматизацию горнопроходческих машин (комбайнов). Проходческие комбайны разделяют на группы: бурового действия; избирательного действия.

Автоматизированный проходческий комбайн, как объект автоматизации, включает в себя подсистемы:

- автоматического регулирования нагрузки привода режущего органа для оптимизации использования мощности;
- программного управления движением режущего органа для отработки требуемого профиля забоя;
- автоматической ориентации, стабилизирующей комбайн в заданном направлении движения и по углу крена.

Программное управление проходческими комбайнами и буровыми машинами начало развиваться с разра-

ботки переносных ПУ для комбайнов со стреловидным режущим органом.

В настоящее время серийно выпускается аппаратура программного управления для комбайнов 4ПП-2 и ПК-9рА. Все вышеперечисленное дает возможность алгоритмизировать процесс разработки безлюдной автоматизированной щитовой проходки транспортных тоннелей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Рассмотренный в данной статье процесс эволюции горнопроходческих работ от тяжелого ручного труда до автоматизации процесса без задействования человеческих ресурсов в забое позволит, при появлении заинтересованных организационных структур, обеспечить оперативное создание систем безлюдной щитовой проходки, фактически революционизирующих отрасль подземного транспортного строительства. ■**

### Литература

1. СН-322-74 «Указания по производству и приемке работ по строительству в городах и на промышленных предприятиях коллекторных тоннелей, сооружаемых способом щитовой проходки».
2. Интернет-портал «Подземный эксперт». Волков В.П., Наумов С.Н., Пирожкова А.Н., Храпов В. Г. «Тоннели и метрополитены». — М.: 1964.
3. Интернет-коллекция Other referats. «Автоматизация производственных процессов на горных предприятиях».

# ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНС НА ПУТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И ЦИФРОВИЗАЦИИ



Вестибюль станции «Текстильщики», оснащенный современным досмотровым оборудованием

**И. А. СИВАКОВ**, к. т. н., заместитель главного инженера;  
**Е. В. СИМАКОВ**, к. т. н., начальник отдела автоматики  
(ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»)

**ИНСТИТУТ «ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНС», АКТИВНО УЧАСТВУЯ В РАБОТЕ ПО РАЗВИТИЮ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА, ОСОБОЕ ВНИМАНИЕ УДЕЛЯЕТ СОВРЕМЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ, ВКЛЮЧАЯ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. НА ЭТОМ ПУТИ ЕСТЬ УСПЕХИ. ВМЕСТЕ С ТЕМ ВРЕМЯ ОБОЗНАЧИЛО И РЯД ПРОБЛЕМ, СВЯЗАННЫХ С НЕОБХОДИМОСТЬЮ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ.**

## ОСНОВЫ СОВРЕМЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

При проектировании новых станций Московского метрополитена («Текстильщики», «Печатники») специалисты Ленметрогипротранса предложили собственные разработки по части размещения современного досмотрового оборудования.

Напомним, в Приказе Министерства транспорта РФ № 227 «Об утверждении Правил проведения досмотра, дополнительного досмотра, повторного досмотра в целях обеспечения транспортной безопасности» в ст. 13 указан пере-

чень предметов и веществ, запрещенных или ограниченных в перемещении в зоне транспортной безопасности: огнестрельное и холодное оружие, взрывчатые вещества, опасные радиоактивные, химические и биологические агенты.

Для выявления перечисленных предметов и веществ в вестибюлях станций Московского метрополитена при проектировании предусматриваются досмотровые помещения со специальным оборудованием:

- стационарная двухпроекционная досмотровая рентгеновская установка конвейерного типа для досмотра грузов и ручной клади;
- портативный обнаружитель следов и паров взрывчатых веществ;





Вестибюль станции «Текстильщики с оборудованием автоматизированной системы оплаты проезда

- портативные идентификаторы химических и биологических агентов;

- аппаратура подавления радиолний управления взрывными устройствами;

- портативный металлодетектор.

По количеству входных дверей вестибюля устанавливаются стационарные арочные металлодетекторы. Для ограничения прохода пассажиров в вестибюли, минуя проход через стационарные арочные металлодетекторы, устраиваются заградительные барьеры. Для пассажиров с кардиостимуляторами, имеющих противопоказания для прохода через металлодетекторы, предусмотрена калитка с кнопкой вызова сотрудника службы безопасности метрополитена.

Мониторы автоматизированного комплекса радиационного контроля устанавливаются в вестибюле над входной группой дверей, соответствующие видеокamеры — в вестибюле на рамочных металлодетекторах.

В вестибюле или в зоне досмотра размещается взрывозащитный контейнер для временного хранения взрывчатых веществ, изъятых у пассажиров. На границе контроля и сектора свободного доступа устанавливаются турникеты и кабина контроллера автоматических пропускных пунктов.

## ИННОВАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОПЛАТЫ

В июне 2021 года Московским метрополитеном были разработаны актуализированные Технические требования на проектирование автоматизированной системы оплаты проезда, в которых акцент делается на пропуск по биометрическому признаку — геометрии лица (Face Pay). Видеокamеры для распознавания физических лиц (так называемой видеоидентификации) и блок световой индикации устанавливаются в модуле расширения турникетного комплекса видеонаблюдения при проходе в двух направлениях — входа и выхода из турникета.

Оплату и автоматический контроль прохода можно осуществить посредством идентификации человека модулем видеофиксации, установленным в корпусе турникета, и списания средств со счета идентифицируемого. В этом случае деньги на счет пассажира для оплаты проезда должны поступать заранее. При их отсутствии произойдет соответствующее предупреждение и запрет на проход через турникет. Информация о пассажире хранится в базе данных на электронном носителе. Для обработки данных используется отечественное специализированное ПО.

Московский метрополитен будет обеспечивать защиту баз данных от доступа к ней любых лиц, за исключением уполномоченных федеральными органами исполнительной власти, что позволит при прохождении через турникет отслеживать подозрительных лиц, а также лиц, находящихся в розыске.

С июля 2021 года в ГУП «Московский метрополитен» проводилось тестирование данной системы. А с 15 октября 2022 года на всех станциях столичного метро, которых более чем 240, система Face Pay заработала в полном масштабе. Пока подключение пассажиров к сервису является добровольным, с сохранением возможности других способов оплаты. В перспективе же предполагается использовать систему оплаты проезда максимально без участия кассиров.

## ПРОБЛЕМЫ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

К сожалению, при сегодняшней ситуации в ходе проектирования систем контроля и управления доступом в метрополитен приходится сталкиваться с рядом проблем. Они касаются, в том числе, технического исполнения поставленных задач. Например, в новых требованиях к системе контроля доступа указано, что двухфакторные считыватели бесконтактных карт с биометрическим модулем (геометрия лица) и блоком питания должны быть в едином корпусе со степенью защиты корпуса IP54, также контроллер — в корпусе со степенью защиты IP65. Решение достаточно практичное и эстетичное, особенно у точек прохода в вестибюлях и на платформе метрополитена, но, к сожалению, заложить такое оборудование сейчас в проект невозможно, так как на рынке РФ такие устройства отсутствуют. Еще одна проблема, с которой мы столкнулись при проектировании, — это отсутствие электромеханических замков российского производства с необходимыми по техническим требованиям ГУП «Московский метрополитен» характеристиками.

Проблемой также стало отсутствие охранных извещателей (педали, кнопки, вибрационные, объемники, шторы) и оповещателей (звуковые и светозвуковые), имеющих обязательный сертификат соответствия согласно постановлению Правительства РФ № 969 от 26.09.2016. Компании-изготовители отказываются проходить сертификацию, так как ее стоимость не окупается малыми объемами закупок. Решением этой проблемы могло бы быть, например, исключение данного оборудования из требований по сертификации или субсидирование предприятий-производителей на еехождение.

## ПОДРОБНО О ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ

Есть нерешенные проблемы и с программным обеспечением. В деятельности любого проектного института задействовано множество различных видов ПО. Упрощенно все многообразие используемого софта можно разделить на несколько групп:

- системное и обслуживающее ПО, необходимое для функционирования сетей, серверов, баз данных, локальный рабочих мест и запуска прикладного программного обеспечения;

- системы автоматизированного проектирования (CAD), информационного моделирования (BIM), автоматизации инженерных расчетов (CAE);

- системы автоматизации сметных расчетов;

- системы для работы с растровой и векторной графикой, создания визуализаций архитектурного оформления;

- системы электронного документооборота, совместной работы с документами, планирования и управления деятельностью организации, кадрового и бухгалтерского учета;

- «офисное» ПО (текстовые, табличные редакторы и т. д.);

- ПО в области информационной безопасности.

Наиболее проблемными после ухода западных вендоров стали первые две группы программного обеспечения.

Есть сложности и с пользовательскими операционными системами. Безальтернативным вариантом для проектировщиков остаются продукты компании Microsoft. Несмотря на появление и все увеличивающуюся на рынке долю отечественных операционных систем на базе Linux (Astra Linux, AlterOS, РОСА, ОС Альт, РЕД ОС), их применение непосредственно при проектировании ограничено, так как под них пока нет необходимого прикладного программного обеспечения для черчения, создания моделей, выполнения расчетов и т. д. Возможно, в перспективе нескольких лет соответствующее ПО будет перенесено с Windows на Linux-платформу, что позволит выполнить импортозамещение основного системного софта.

С системами автоматизации проектирования и информационного моделирования ситуация лучше, но с некоторыми оговорками. Есть ряд крупных отечественных разработчиков (Nanosoft, CSoft, Renga Software, ACKON, Топоматик), выпускающих функциональные и достаточно конкурентные решения, хорошо закрывающие основные потребности проектирования, и последние два года такое ПО неплохо развивалось, подстраиваясь под задачи рынка. Однако данные продукты изначально разрабатывались и позиционировались как инструменты автоматизации для задач наземного строительства.

Проектирование подземных объектов метрополитена и тоннелей имеет свою специфику, которая достаточно сложно реализуется на любом софте, независимо от страны его происхождения. Требуют доработки и дополнительные инструменты автоматизации. Часто эта задача выполняется проектными институтами самостоятельно с учетом конкретных производственных задач. Иногда необходимые модули разрабатываются на протяжении многих лет, постепенно и итеративно наращивая новый и, отчасти, меняя основной функционал коробочного решения. В итоге такие «надстройки» плотно встраиваются во внутренние процессы проектирования. Единомоментный перенос их из одной проектирующей платформы в другую при этом зачастую или очень сложен и трудоемок, или, в некоторых случаях, вообще невозможен из-за отсутствия в новой системе необходимого базового функционала. Дополнительные ограничения накладывают также и специфические требования нормативных документов в части оформления документации, применяемые в организации библиотеки элементов для информационного моделирования и т. д.

В качестве примера нужно привести несколько цифр. На сегодняшний день институтом поддерживается собственная библиотека семейств технологического оборудования и материалов, применяемых при проектировании объектов метрополитена, насчитывающая около 1,5 тыс. наименований, и библиотека типовых строительных конструкций и узлов, содержащая порядка 400 элементов. Для каждого элемента создана геометрия с соответствующим уровнем детализации, в каждый внесены дополнительные атрибуты, необходимые для выпуска документации и строительства с учетом информационных требований заказчика. Библиотеки ведутся и пополняются с 2015 года.

Особенность таких библиотек заключается в том, что они разрабатываются с учетом специфики конкретного проектного ПО, в котором ведется работа; значительная часть их элементов — уникальное оборудование, применяемое только на объектах метрополитена и в транспортных тоннелях, и оно практически не распространено в других строительных областях. Из-за этого для значительной части такого оборудования не существует готовых моделей в общем доступе, как, например, в наземном строительстве жилых и общественных зданий, и необходима адаптация параметров под требования заказчика. Перенос таких библиотек с платформы на платформу — длительная и кропотливая задача, решение которой может растянуться на несколько лет.

Также нужно отметить, что разработка документации на технически сложные и уникальные объекты метропо-

литена занимает несколько лет и переход с одной платформы на другую в течение этого времени без срыва сроков и снижения качества выпускаемой продукции затруднен, а иногда и вовсе невозможен в силу описанных выше факторов.

К сожалению, полностью на сегодняшний день реализовать весь цикл проектирования по всем разделам документации в отечественном ПО не получается. Базовые сценарии удалось закрыть отечественными решениями, но в нашей отрасли произошел откат в уровне технологий и удобстве работы на 3-5 лет назад, который нужно наверстывать в ближайшее время.

Из систем автоматизации инженерных расчетов проблемным остается только вопрос с программным обеспечением для геотехнического направления (расчет мульды осадок и влияния на окружающую застройку, фильтрации в грунтах и водопонижения, подземных конструкций с учетом сейсмике). Отечественных продуктов для решения задач такого класса на сегодняшний день нет, да и в целом подобный софт выпускает несколько компаний во всем мире, из которых нам остался доступен один вендор.

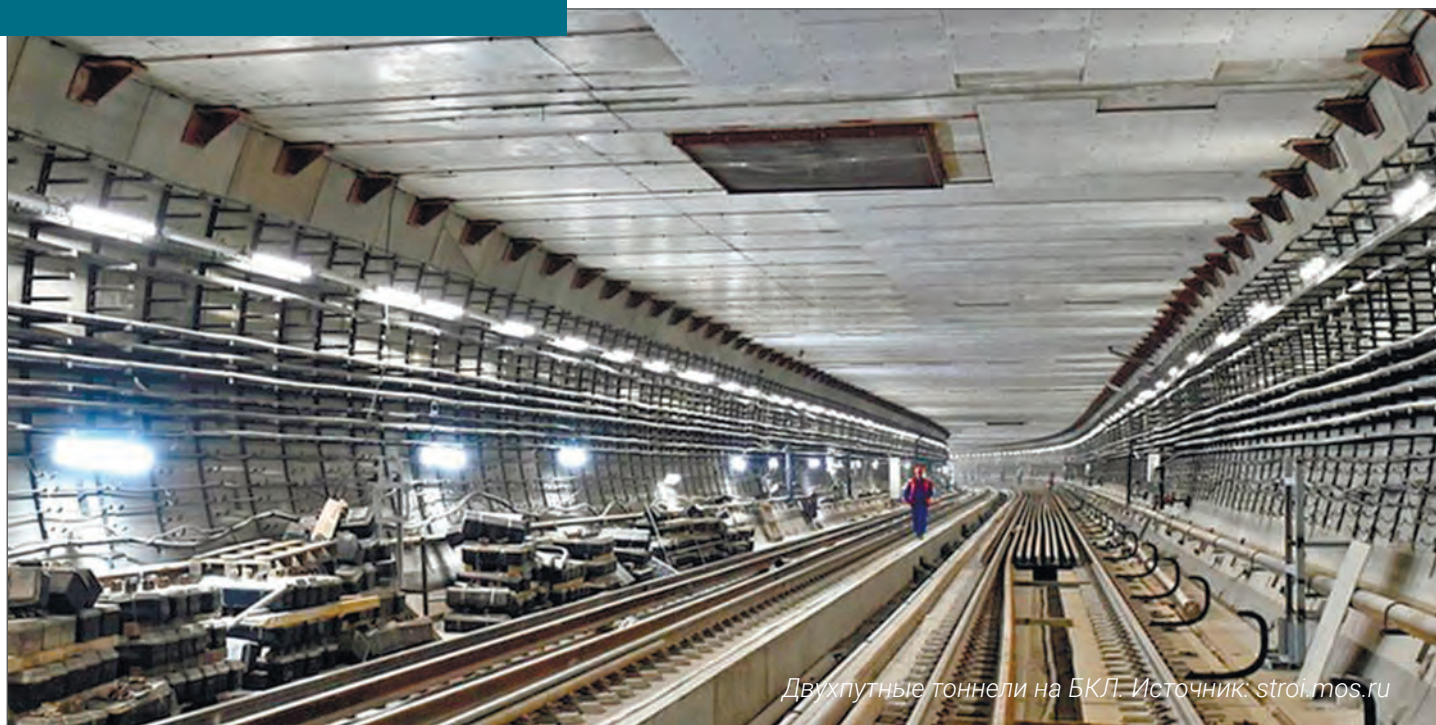
В остальных группах большая часть используемого программного обеспечения либо изначально российского производства, либо имеются доступные полнофункциональные аналоги ушедшим с нашего рынка продуктам.

Если говорить про институт, то нам удалось оперативно перестроить часть внутренних процессов и заместить критически важное программное обеспечение на российские аналоги в тех областях производства, где это не влияло критично на качество и сроки выполнения работ. В остальном — часть ранее закупленных постоянных лицензий на иностранное ПО продолжает работать без ограничений, в связи с чем срочной замены не требуется и есть возможность дождаться, когда отечественный софт нарастит необходимый функционал, адаптировать собственные наработки под новые платформы и осуществить более плавный переход.

В целом 2023 год показал, что уход иностранных вендоров не оказал критического влияния на производственный процесс, но привел к откату назад в уровне технологий по некоторым направлениям, над преодолением которого сейчас работают как программисты института, так и непосредственно разработчики программного обеспечения. ■



[www.lmgt.ru](http://www.lmgt.ru)



Двухпутные тоннели на БКЛ. Источник: stroi.mos.ru

## БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ДВУХПУТНОГО ТОННЕЛЯ МЕТРО В ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

М. О. ЛЕБЕДЕВ,

к. т. н., зам. генерального директора по научно-исследовательской работе  
ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

**СТРОИТЕЛЬСТВО ДВУХПУТНОГО ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ В ПРАКТИКЕ МЕТРОСТРОЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ВПЕРВЫЕ БЫЛО ОСУЩЕСТВЛЕНО В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ. ПРОХОДКА ВЫПОЛНЯЛАСЬ В ПРЕДЕЛАХ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ – ВОДОНАСЫЩЕННЫХ СОВЕРШЕННО НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ, А ТАКЖЕ В ПЛОТНЫХ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГЛИНАХ, ПРИ ПОМОЩИ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО МЕХАНИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА (ТПМК) С ГРУНТОПРИГРУЗОМ.**

Трасса тоннеля пересекала транспортные развязки, железную дорогу, в зоне влияния строительства находились здания и сооружения. Для обеспечения безопасности строительных работ осуществлялся геотехнический мониторинг, одной из задач которого являлась корректировка технологических параметров ведения щита.

Для возможности оперативного принятия решений в случае приближения контролируемых параметрами

напряженно-деформированного состояния системы «тоннель — грунтовый массив» к критериальным величинам, измерения выполнялись автоматизированными системами с контролем в режиме реального времени. Это позволяет не только качественно выполнить в случае необходимости противоаварийные мероприятия, но и осуществить оперативную корректировку технологического режима проходки, направленную на снижение деформаций окружающего грунтового массива.

## ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Строительство метрополитена в Ленинграде начиналось на больших глубинах — в среднем около 60 м. Обоснованием такого размещения служила мощная толща четвертичных отложений, представленных водонасыщенными неустойчивыми грунтами. При использовании отбойного молотка, как основного проходческого инструмента, до середины XX века, обеспечение водонепроницаемости возводимых конструкций метрополитена можно было обеспечить только в водоупоре — плотных аргиллитоподобных котлинских глинах, подстилающих четвертичные отложения.

Развитие технологий и мировой опыт их применения для строительства тоннелей большого поперечного сечения применительно к метрополитенам [1,2] создали возможность построить двухпутный тоннель в Санкт-Петербурге. Это позволило внедрить современные проектные решения, реализуемые при строительстве станций уже мелкого заложения [3].

Строительство первого двухпутного перегонного тоннеля при помощи ТПМК с грунтопригрузом выполнено на участке Невско-Василеостровской линии Петербургского метрополитена.

Большая часть перегонного тоннеля общей длиной 3,8 км расположена в совершенно неустойчивых грунтах на глубине (по шельге свода) от 10 до 13,6 м. К демонтажной камере ТПМК приходит на глубине более 50 м.

На участке мелкого заложения вмещающие породы представлены моренными суглинками с включениями гравия и гальки в 10-15%, с отдельными валунами кристаллических пород, тугопластичной и полутвердой консистенции, моренными супесями, плотными, с гравием и галькой (10-20%), с отдельными валунами, твердой консистенции, в меньшей степени пластичной консистенции, переотложенными глинами твердой консистенции и дислоцированными нижнекембрийскими глинами твердой консистенции. В морене возможна встреча крупных валунов гранитного состава с размерами более 0,5 м. В единичных случаях габариты валунов достигали 3-5 м. В основании тоннеля залегают глинистые грунты полутвердой и твердой консистенции.

На участке глубокого заложения проходка тоннеля выполнена в ненарушенных нижнекембрийских глинах и плотных аргиллитоподобных котлинских глинах твердой консистенции с коэффициентом крепости по Протодьяконову  $f=1,5$ . В глинах прослеживаются прослои кварцевых песчаников мощностью от 0,15 до 1 м. Песчаники содержат напорные воды. Гидростатическое давление в песчаниках в зависимости от глубины залегания его от поверхности изменяется в пределах 0,35–0,56 МПа.

Глины по своим прочностным и деформационным свойствам относятся к полускальным породам.

Тоннель с внутренним диаметром 9,4 м и наружным 10,3 м проходили с помощью ТПМК фирмы Herrenknecht с грунтовым пригрузом забоя. Поперечное сечение тоннеля представлено на рис. 1.

В зону влияния строительства тоннеля попали КАД Санкт-Петербурга и другие автомобильные дороги, железнодорожные и трамвайные пути, различные здания и сооружения. В процессе проходки осуществлялся геотехнический мониторинг, который был направлен на снижение негативного влияния техногенных процессов при строительстве тоннеля на окружающую среду и безопасность горнопроходческих работ.

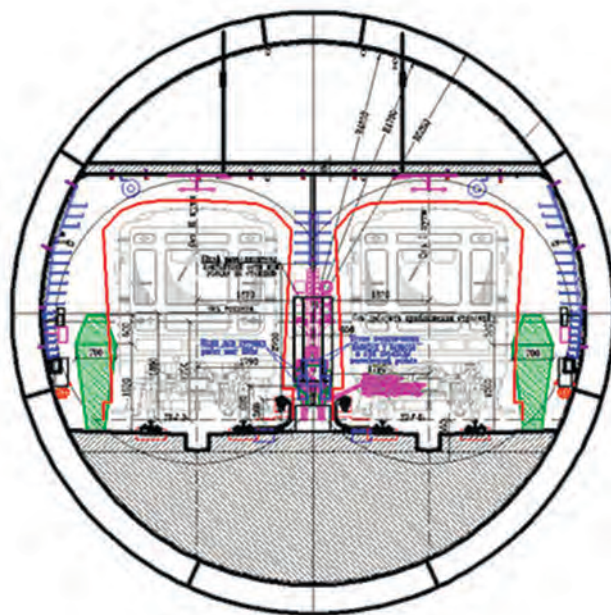


Рис. 1. Поперечное сечение двухпутного тоннеля

Геотехнический мониторинг решал следующие задачи:

- инженерно-геологический и гидрогеологический прогноз впереди забоя;
- определение поверхностных и глубинных смещений грунтового массива;
- визуальный и инструментальный мониторинг зданий, попадающих в зону строительства тоннеля;
- контроль качества заполнения заобделочного пространства;
- определение напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля.

Безопасность ведения горнопроходческих работ в значительной степени зависит от наличия максимально достоверной и оперативной информации о напряженно-

деформированном состоянии системы «обделка — вмещающий массив» и дневной поверхности. Такую информацию можно получить, осуществляя геотехнический мониторинг с использованием автоматизированных систем, обеспечивающих получение информации в режиме реального времени со всей стационарно установленной контрольно-измерительной аппаратуры [4].

Задачи, решаемые в составе геотехнического мониторинга, связаны с оценкой состояния возводимых строительных конструкций, вмещающего массива, дневной поверхности и зданий, попадающих в зону влияния строительства. Необходимость сохранения зданий и сооружений на дневной поверхности дает приоритет использованию автоматизированных систем при определении деформаций грунтового массива, начиная от контура подземных сооружений и до поверхности земли. Получаемые результаты мониторинга позволяют в процессе строительства корректировать технологические параметры горнопроходческих работ, параметры крепления и технологии возведения обделок, разрабатывать рекомендации по снижению негативного влияния на окружающую среду.

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Основной проблемой при строительстве тоннелей на небольшой глубине в слабых грунтах является обеспечение поддержания дневной поверхности. Наличие геодезического контроля не позволяет выделить конкретные технологические параметры ведения ТПМК, влияющие на формирование деформаций вмещающего массива. Для этого по всей трассе перегонного тоннеля, на участке как мелкого заложения (рис. 2), так и глубо-

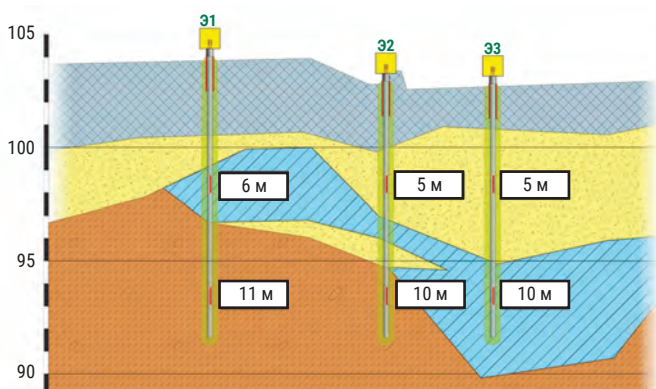


Рис. 2. Размещение скважин с экстензометрами над двухпутным перегонным тоннелем на участке мелкого заложения

кого заложения, были размещены скважины с экстензометрами. Нижние экстензометры располагаются на 1,5 м выше обделки тоннеля, диаметр которого составляет 10,3 м. Измерения автоматизированной системой, располагаемой в антивандальном шкафу, выполнялись каждые 2 часа с передачей данных на удаленный интернет-портал. Результаты измерений на одном из участков тоннеля приведены на рис. 3.

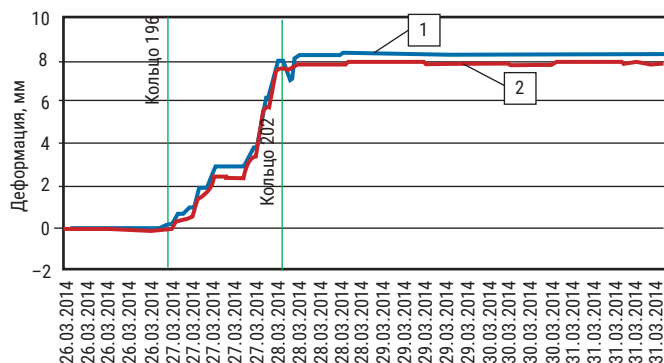


Рис. 3. Формирование деформаций в толще массива для двух экстензометров, расположенных в одной скважине: 1 — на глубине 5 м; 2 — на глубине 10 м

В соответствии с полученными результатами были определены временные рамки, связывающие деформации с технологическими параметрами ведения ТПМК, и скорость их распространения от контура обделки к поверхности. Оптимальный подбор давления пригруза не вызвал деформаций массива как впереди забоя, так и при движении щита под скважиной. Деформации подъема происходят только при нагнетании тампонажного раствора за обделку.

При отсутствии инженерных коммуникаций на рассматриваемом участке тоннеля стало возможным выполнить превышение давления нагнетания за обделку относительно расчетных величин, при которых был зафиксирован подъем поверхности (рис. 4). Также было определено, что толща грунта над тоннелем, составляющая 12 м, практически не сжимается, поэтому превышение давления при заполнении заобделочного пространства сразу проявлялось на земной поверхности. За два дня, с 26.03.2014 по 28.03.2014, поверхность земли подняли на +45 мм при расчетных значениях –20 мм (оседание).

Еще одним результатом, полученным в процессе изучения формирования деформаций массива, является косвенное определение сроков «живучести» тампонажного раствора. Деформации подъема экстензометров

продолжаются более одних суток. За это время было возведено шесть колец обделки, а расстояние от щита составляло 10,8 м. Это становится возможным только в том случае, когда усилие прикладывается именно от контура тоннеля, то есть за счет давления тампонажного раствора. Сроки схватывания раствора определяют не только деформации поверхности, но и напряженно-деформированное состояние обделки.

Отработка технологических параметров ведения ТПКМ на рассмотренном участке позволила осуществить проходку по остальной трассе мелкого заложения тоннеля с минимальными деформациями поверхности, от  $-5$  мм (оседание) до  $+15$  мм. Как правило, на участках, где происходил подъем поверхности, последующего оседания не отмечалось.

Всего по трассе тоннеля было размещено шесть скважин с экстензометрами на участке мелкого заложения и две скважины на участке глубокого заложения.

На участке глубокого заложения, по данным экстензометров, деформации оседания приконтурной зоны были допущены величиной  $0,5$  мм. При таких смещениях приконтурной зоны деформации поверхности зафиксированы не были.



Рис. 4. Трещина на поверхности земли при выполнении нагнетания тампонажного раствора за обделку

Важным является контроль качества заполнения заобделочного пространства тампонажными растворами, поскольку для каждой технологической схемы отдельно подбирается их рецептура и способ их подачи в заобделочное пространство.

С учетом скорости строительства необходимо подбирать сроки схватывания тампонажных растворов за обделкой, так как от этого напрямую зависит своевременный ее ввод в совместную работу с массивом. Задачи по определению качества заполнения заобделочного пространства решались в составе геотехнического мониторинга при помощи ультразвуковых томографов и георадаров с разработкой рекомендаций, на основании которых затем корректировались технологические параметры выполнения тампонажных работ, предусмотренные технологическим регламентом.

Важную роль для оценки влияния строительства на существующие здания и сооружения или отсутствие такого влияния оказывает визуальный и инструментальный мониторинг.

По трассе тоннеля в зону влияния строительства попало четыре жилых и общественных здания на участке мелкого заложения и два жилых здания на участке глубокого заложения. Одно из зданий находилось непосредственно над тоннелем, а остальные — на расстоянии от 4 до 10 м от его контура.

Для оценки напряженно-деформированного состояния конструкций зданий использовалась стационарная система мониторинга строительных конструкций. Измерительные датчики обеспечивают периодическое измерение степени раскрытия трещин, уровня вибраций, угла наклона и температуры в точках их установки, накопление результатов проведенных измерений и последующую передачу их в блок сбора-передачи информации по радиоканалу и далее на удаленный интернет-портал. Высокоточные измерители углов наклона (наклонометры) предназначены для измерения наклона и прогиба конструкций сооружения относительно вертикальной оси (отвесной линии) в двух направлениях и устанавливаются на крышах зданий.

Измерения по датчикам (рис. 5) выполняются в автоматизированном режиме с передачей данных на удаленный интернет-портал. Наблюдения по установленной контрольно-измерительной аппаратуре в течение двух лет показали, что величины раскрытия трещин зависели, в основном, лишь от изменения температурного режима. Амплитуда раскрытия — закрытия трещин достигала 2 мм. При этом возврата к первоначальному состоянию не происходило. Накопленная за все время измерений величина раскрытия трещин без учета температурных факторов составила до  $0,5$  мм. При этом

# метрополитены

по фасадам зданий и по внутренним конструкциям раскрытия трещин, связанного с производством работ, не наблюдалось.

К условиям безопасности при проходке тоннеля на малых глубинах относится не превышение допустимого уровня вибрационного воздействия на существующие здания и сооружения. Исследования такого воздействия были проведены для здания, расположенного над строящимся объектом. Слой грунта между контуром тоннеля и дневной поверхностью составлял 12 м.

На несущих конструкциях здания были установлены вибродатчики, подключенные к автоматизированной системе сбора информации, с частотой их опроса 1 раз в час. В соответствии с результатами ежедневного контроля (рис. 6) при проходке тоннеля под зданием, можно сказать, что общий фон вибраций строительных конструкций здания ниже порогового, а зафиксированные отдельные локальные скачки связаны с деятельностью Молодежного центра в дневное время и движением трамваев на расстоянии 30 м от здания. Скачок вибраций, зафиксированный между 8 и 9 октября (рис. 6), произошел при остановленном ТПМК — выполнялись обслуживающие процессы.

Определение напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля выполняется при помощи контрольно-измерительной аппаратуры, размещаемой в блоках при их изготовлении. Обделка была оснащена струнными деформометрами — тензометрами с базой



Рис. 5. Схема размещения датчиков инструментального мониторинга на одном из фасадов зданий

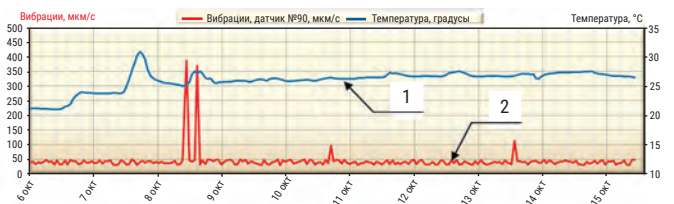


Рис. 6. Результаты контроля вибрационного воздействия на здание по одному из вибродатчиков, установленных на несущих конструкциях: 1 — температура, ОС; 2 — вибрации, мкм/с

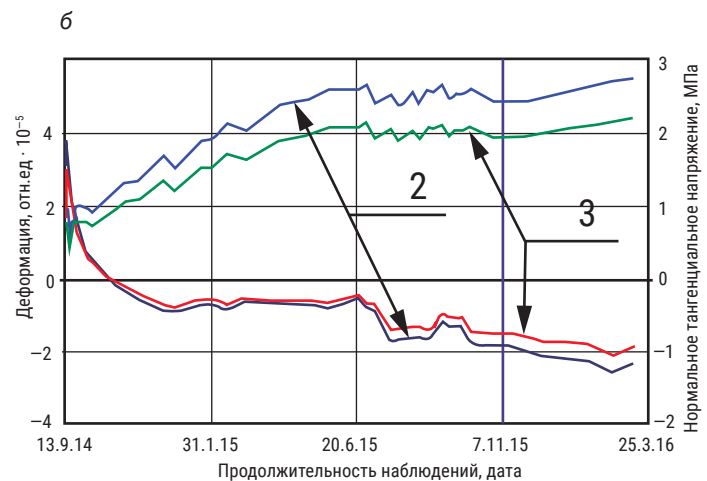
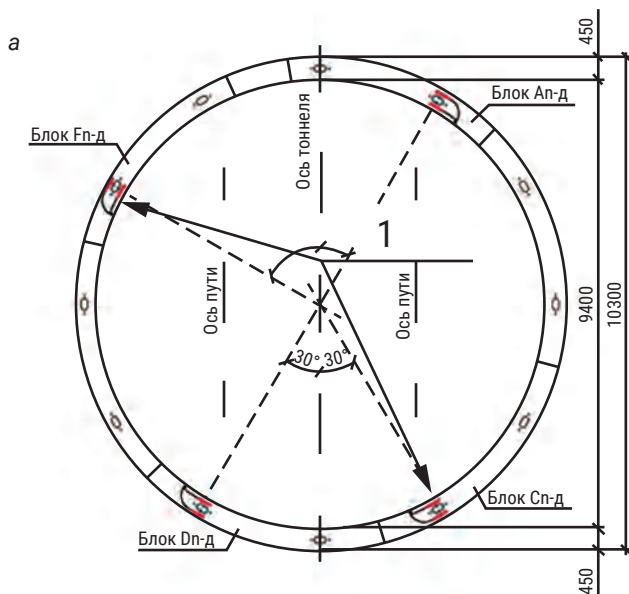


Рис. 7. Схема размещения датчиков в обделке двухпутного перегонного тоннеля (а) и характерный график формирования усилий в обделке (б): 1 — струнные датчики; 2 — относительные деформации на внутреннем и внешнем контуре  $\cdot 10^{-5}$  отн. ед.; 3 — нормальные тангенциальные напряжения в бетоне на внутреннем и внешнем контуре, МПа



измерения 200 мм. По измеренным местным относительным деформациям вычисляются нормальные тангенциальные напряжения. В бетонных и железобетонных конструкциях напряжения вычисляют по специальной методике с учетом загрузки бетона в раннем возрасте и его ползучести. Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное применение датчиков (деформометров) внутри конструкций (рис. 7-а) и измерение деформаций внутреннего контура, начиная с момента их возведения.

С учетом технологии строительства можно контролировать качественное и количественное изменение напряженно-деформированного состояния обделки (рис. 7- б) с момента сборки кольца под защитой оболочки ТПМК. Сопоставление величин напряжений в обделке с дефор-

мациями внутреннего контура для конкретного сечения позволяет с меньшими затратами оценить несущую способность на остальных участках тоннеля, ограничиваясь только контролем деформаций внутреннего контура. Для достоверного и достаточного определения несущей способности обделки по трассе данным способом, датчиками оснащается обделка в пределах всех литологических разностей, пересекаемых тоннелем. По трассе рассматриваемого тоннеля датчиками было оснащено 18 колец.

Мониторинг формирования напряженно-деформированного состояния обделки в части продолжительности и скорости изменения контролируемых величин позволяет судить не только об абсолютных величинах, определенных расчетом, но и косвенно о качестве заполнения заобделочного пространства и сроках схватывания тампонажного раствора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт сооружения перегонного тоннеля большого поперечного сечения в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга показывает, что обеспечение безопасности при строительстве достигается внедрением современных технологий совместно с проведением геотехнического мониторинга.

Результаты исследований позволяют определить основные влияющие факторы на формирование смещений массива по всей толще и разработать рекомендации по корректировке параметров технологии строительства, уменьшению негативного воздействия на осадки земной поверхности и связанный с этим процесс разрушения зданий, попадающих в зону мульды сдвига, а также уменьшение до допустимых значений вибрационного воздействия на эти здания.

Использование современных автоматизированных систем геотехнического мониторинга при проходке тоннелей различного назначения, особенно в условиях городской застройки, является незаменимым элементом технологического процесса, позволяющим значительно снизить риски возникновения аварийных

ситуаций и повысить эффективность мероприятий, принимаемых на основе результатов мониторинга.

Размещение контрольно-измерительной аппаратуры в обделку, для определения напряженно-деформированного состояния, позволяет контролировать формирование усилий не только в период строительства транспортных тоннелей, но и прогнозировать несущую способность обделки для обеспечения их безопасной эксплуатации.

Обобщая накопленный опыт ведения геотехнического мониторинга, его роль в технологическом процессе строительства подземных сооружений, можно отметить следующие достоинства этой методологии:

- задачи исследований позволяют получить полную картину взаимодействия и совместной работы системы «обделка — массив», на основании которой оперативно принимаются решения о необходимости корректировки технологических параметров строительства;
- реализуемые задачи мониторинга дополняют друг друга и позволяют исключить возможные ошибки в интерпретации получаемых данных;
- снижение вредного влияния горных работ на окружающую среду, обеспечение промышленной безопасности при строительстве. □

(Интернет-версия статьи размещена на портале [Undergroundexpert.info](http://Undergroundexpert.info))

### Литература

1. Maslak, V.A., Bezrodny, K.P., Lebedev, M. O., Gendler, S.G. (2014), New technical and technological solutions for the construction of subway tunnels in a megacity. — Mining Journal, 5, 57-60.
2. Merkin, V.E., Khokhlov, I.N. (2016), On the conditions for the effective use of double-track tunnels in the construction of a subway in Moscow. — Metro and tunnels, 6, 83-86.
3. Бойцов, Д.А., Евстифеева, О.В. Современные достижения в проектировании станций метрополитена. — «Метро и тоннели», 6-2016. С. 47–52.
4. Lebedev, M.O. (2016), Automated systems as a part of geotechnical monitoring in construction and operation of transport tunnels. The 2016 15th World Conference of Associated Research Centers for the Urban Underground Space (ACUUS 2016). — Procedia Engineering., 448-454.



## СЕРГЕЙ ЖУКОВ О ДОСТИЖЕНИЯХ И ЗАДАЧАХ МОСМЕТРОСТРОЯ

**БЕСПРЕЦЕДЕНТНАЯ ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА, КАК ИЗВЕСТНО, ПОТРЕБОВАЛА ПРИВЛЕЧЕНИЯ НА ПОДЗЕМНУЮ СТРОЙКУ ВЕКА НЕСКОЛЬКИХ КРУПНЫХ КОМПАНИЙ, И НЕ ТОЛЬКО СО «СТОЛИЧНОЙ ПРОПИСКОЙ». ВМЕСТЕ С ТЕМ МОСМЕТРОСТРОЙ, ИМЕЮЩИЙ ЗА СВОИМИ ПЛЕЧАМИ ИСТОРИЮ В 92 ГОДА И РАНЕЕ ЯВЛЯВШИЙСЯ ЕДИНСТВЕННЫМ ПОДРЯДЧИКОМ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТРО В МОСКВЕ, НЕ УТРАТИЛ ЛИДЕРСКИХ ПОЗИЦИЙ. КРОМЕ ТОГО, КОМПАНИЯ ЗАДЕЙСТВОВАНА СЕЙЧАС И В ДРУГОМ РЕГИОНЕ. О ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИТОГАХ УХОДЯЩЕГО ГОДА И ПЛАНАХ НА БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ РАССКАЗАЛ ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР АО «МОСМЕТРОСТРОЙ» СЕРГЕЙ ЖУКОВ.**

— Сергей Анатольевич, событием года в российском метростроении стало введение в эксплуатацию Большой кольцевой линии, торжественное открытие которой 1 марта прошло с участием Президента России Владимира Путина и мэра Москвы Сергея Собянина. Можно подробнее об участии Мосметростроя в реализации этого грандиозного проекта?

— Открытие БКЛ — важнейшее событие транспортного строительства в России последних десятилетий. Мэр Москвы Сергей Собянин и руководство Строительного комплекса столицы доверили нам возведение столь знакового для города инфраструктурного объекта. Мы работали на самых сложных участках, сооружали станции глубокого заложения — и справились, в который раз подтвердив, что слава и репутация Мосметростроем заслужены.

Владимир Путин по достоинству оценил наш вклад в сооружение Большой кольцевой линии. Награждены порядка 40 руководителей и других работников компании. Свою же награду орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени я хочу отнести ко всему нашему коллективу. Это общая заслуга — строительство самого большого метрокольца в мире. Считаю, что БКЛ останется в истории, как и первые очереди московского метро, которые сооружались с 1931 года.

Мы гордимся, что девять из 31 станции БКЛ построил Мосметрострой. Уточню, что доверенный нам северо-

восточный участок — самый сложный ввиду непростых гидрогеологических условий и плотной городской застройки. Мое глубокое уважение высококлассным специалистам и рабочим, которые сумели воплотить этот проект в жизнь.

— А у вас есть любимая станция на БКЛ?

— Пожалуй, это «Сокольники» — знаковый объект для Мосметростроя, поскольку станция сооружена рядом с одноименным метровокзалом Сокольнической линии, с которого более 90 лет назад началась история нашей ор-





ганизации, в своей сфере старейшей в стране. Архитектурный облик «Сокольников» — это некая историческая ретроспектива метростроения в столице и легендарных событий в жизни Московского Метростроя.

Кстати, мы давно вынашиваем идею и близки к ее воплощению — установить в историческом для всех метростроителей месте — сквере Московского метро рядом со станцией «Сокольники» — памятник нашим первостроителям.

**— Известно также, что компания в мае рекордными темпами завершила реконструкцию аварийного участка Замоскворецкой линии между «Автозаводской» и «Орехово», на котором пять станций. В чем особенности выполненной работы?**

— Здесь самым трудоемким был перегон между «Царицыно» и «Кантемировской». За полгода специалисты, а это около тысячи человек, полностью заменили тоннель. На перегоне заново построили 270 м тоннеля с применением современных технологий. Работа по переборке была проведена впервые в нашем метро. Кроме того, отремонтировали подземный переход и путевые стены, уложили новые пути, снизив уровень шума на 30%. Открыли дополнительный выход из южного вестибюля станции «Царицыно», который был закрыт почти 40 лет. К тому же на «Коломенской» строители обновили путевые стены, колонны, своды и платформы.

В этом году также завершили благоустройство территории возле станции «Царицыно». На месте котлована, который был вырыт для ремонта тоннеля, обустроили сквер. Высадили деревья, установили лавочки и качели, оборудовали навесы для защиты от осадков. Весной рядом со станцией метро завершим обустройство спортивных площадок.

Напомню, в ноябре прошлого года участок пришлось закрыть по причине его аварийности, небезопасности

дальнейшей эксплуатации. Сергей Собянин отметил, что такое непростое решение приняли после тщательного исследования ситуации. Тоннели изначально были построены с некачественной гидроизоляцией и уже нуждались в полной замене.

В этом районе много подземных рек, и из-за большого притока воды при восстановительных работах мы применяли классическую систему водопонижения. За шесть месяцев почти с нуля соорудили новые тоннели, восстановили верхнее строение пути и запустили движение поездов. Особых сложностей при ремонте не испытали. Самый трудоемкий участок между «Царицыно» и «Кантемировской» был доверен специалистам СМУ-6.

Труд строителей высоко оценили мэр Москвы Сергей Собянин и начальник Московского метрополитена Виктор Козловский, который отметил, что безопасность и технологичность обновленного участка обеспечены на многие десятилетия вперед.

**— Заметным событием также стал запуск 7 сентября участка «Селигерская» — «Физтех» Люблинско-Дмитровской линии с тремя новыми станциями — «Яхромская», «Лианозово», «Физтех».**

— Я считаю, что лучшее признание наших заслуг — похвала тех людей, которые ждали открытия метро и теперь экономят на поездках в среднем 15-20 минут. Это отмечал глава Стройкомплекса Москвы Андрей Бочкарев. По его словам, сотрудники Мосметростроя вообще совершили трудовой подвиг, решив задачу, которая только им и была под силу.



Улучшилось транспортное обслуживание около полутора миллиона человек — жителей районов Дмитровский, Восточное Дегунино, Бескудниковский, Лианозово, а также поселка Северный и города Долгопрудный Московской области. Важно, что метро пришло также к



одному из ведущих вузов России — МФТИ. Три новые станции моментально завоевали популярность у пассажиров, а первый поезд до «Физтеха» жители города встречали аплодисментами.

Участок «Селигерская» — «Физтех» протяженностью 5,8 км начали сооружать летом 2020 года. Строительство станций и проходка шести однопутных межстанционных тоннелей осуществлялись в сжатые сроки под Дмитровским шоссе — одной из самых загруженных городских трасс, под МКАД и железнодорожными путями МЖД-1. Участок завершил развитие Люблинско-Дмитровской линии в северном направлении, а «Физтех» стал самой северной станцией столичного метрополитена. При строительстве был выполнен значительный объем земляных и монолитных работ, установлено большое количество инженерных систем. Применялись уникальные технологии и решения.

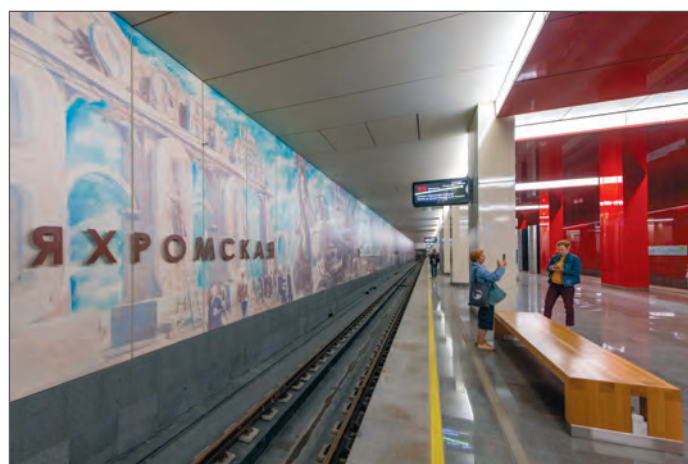
По оценке наших специалистов, самым трудоемким был участок под МКАДом. Потребовалась сложная инженерная подготовка. Стояла задача не допустить просядок на самой оживленной транспортной магистрали столицы. Примененная технология проходки позволила практически исключить какое-либо значимое влияние на действующую инфраструктуру. В результате весь участок был пройден без единой просадки. То есть со сложной задачей мы справились успешно.

## — Какие проекты в работе сегодня?

— Завершаем сооружение третьего выхода второго вестибюля станции «Яхромская» и готовы предъявить объект к сдаче раньше установленного срока. Планируем открыть второй вестибюль станции «Физтех». Близки к финалу и три пересадки на БКЛ: на станциях «Электрозаводская», «Авиамоторная» и «Каховская». Кстати, впервые в практике Мосметростроя над «Электрозаводской» сооружен подземный паркинг. Кроме



того, начали строительство эскалаторного тоннеля для второго вестибюля станции «Рижская» БКЛ. И, конечно, продолжаем наш дальневосточный проект — проходку двух железнодорожных тоннелей на участке Шкотово — Смоляниново.





### — Проходка железнодорожных тоннелей — не очень привычная работа для метростроевцев. Можно об объекте подробнее?

— Специалисты ООО «ММС Интернэшнл», входящего в группу компаний «Мосметрострой», продолжают успешно выполнять работы на одной из крупнейших строек ОАО «РЖД» — перегоне Шкотово — Смоляниново Дальневосточной железной дороги (ДВЖД).

Здесь, в Приморье, прокладываем сразу два параллельных однопутных тоннеля, длиной 1450 и 1420 пог. м, по программе модернизации инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей. Завершить строительство планируем к концу 2024 года.

Также в рамках договора сооружаются два подхода к тоннелям — со стороны Восточного портала протяженностью 1141 м и со стороны Западного портала (450 м).

Ввиду сложных инженерно-геологических условий проходка осуществляется тремя уступами с устройством опережающего крепления свода и «лба» забоя. На отдельных участках применяются специальные методы строительства (джет-технологии для необходимой устойчивости грунтов). Одновременно выполняется сооружение постоянной обделки тоннелей. Сделано свыше 1 тыс. пог. м чистового обратного свода и 650 пог. м постоянной обделки свода и стен.

На подходе к Восточному portalу сооружаются два однопутных моста — сейчас ведется монтаж железобетонных пролетных строений. Кроме того, завершается строительство двух подводящих каналов для сбора водных потоков и их сосредоточения в месте мостовых переходов.

Проект также включает в себя здания и сооружения инженерно-технических средств охраны (ИТСО). Они необходимы для транспортной безопасности и управления тоннелями в период эксплуатации.

В целом в районе Шкотовского перевала задействовано около тысячи человек из разных регионов России и



местные рабочие. Для сооружения тоннелей используется более ста единиц техники, включая специализированные подземные машины и механизмы.

Ввод в эксплуатацию тоннельного обхода на этом участке позволит ликвидировать «барьерное» место на пути к портам Находки. Сейчас на сложном рельефе с подъемами и перепадами для грузовых поездов используют подталкивающие локомотивы. Благодаря новым тоннелям пропускная способность увеличится до 72 пар поездов в сутки без дополнительной тяги.

### — И, напоследок, расскажите еще об одном событии года для всех метростроителей страны. Как отметили свой профессиональный праздник 2 октября, которое считается датой официального начала метростроения в СССР и России?

— День метростроителя, в 2023 году установленный указом Президента России Владимира Путина, для сотрудников нашей компании особенно дорог, ведь он совпадает с днем рождения Московского Метростроя. Труд строителя метро, несмотря на изменившиеся технологии, остается одним из самых сложных и тяжелых. Теперь заслуженно наша профессия отмечена официальной памятной датой. Это большая радость и гордость, это лучший подарок для всех метростроителей страны.

Профессиональный праздник мы отметили с размахом. В частности, выпустили открытки с изображением проекта первого в России памятника метростроителям, обновили экспозицию музея на Цветном бульваре, провели встречу с потомками легендарных руководителей Метростроя, наградили отличившихся работников субподрядных организаций и заслуженных ветеранов. ■

*За содействие в подготовке интервью редакция благодарит пресс-службу АО «Мосметрострой», фото: Александр Попов, Михаил Колобаев*

# КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

П. Ю. КРУТОВ,  
руководитель направления технической поддержки продаж  
ООО «ИНГРИ»

**К**омплексные системы защиты бетона, в том числе гидроизоляция подземных сооружений, включают в себя несколько основных требований:

- к ограждающим конструкциям по несущей способности, характеристикам бетона по водонепроницаемости, прочности, морозостойкости;
- к системе материалов по защите от воздействий, в том числе от проникновения грунтовых вод и агрессивных жидкостей;
- к системам обеспечения (кондиционирование, вентиляция, отопление и т. д.);
- по инженерной защите территории, в частности к системам дренирования.

## МЕТОДЫ И ПРИНЦИПЫ РЕМОНТА И ЗАЩИТЫ БЕТОНА

На сегодняшний день одной из крупнейших в Российской Федерации компаний по производству материалов для ремонта бетона, гидроизоляции, устройству промышленных полов является ООО «ИНГРИ». В ассортименте компании представлено большинство позиций, составляющих типовые системы для ремонта, защиты и гидроизоляции.

Требования к материалам для защиты и ремонта бетонных конструкций регламентируются ГОСТ 32016-2012 и ГОСТ Р 56378-2015. Материалы ООО «ИНГРИ» представлены в следующих разделах по ГОСТ 32016-2012:

В разд. 1 «Защита от проникновения» продукция компании представлена наиболее полно:

- в методе «Покрытия» — мастика на основе полиуретана, составы для напыления на основе полимочевины, цементные и полимерцементные составы;
- в методе «Укладка мембран» — составы на основе полиуретана и полимочевины.

В разд. 4 «Усиление (упрочнение) конструкций» продукция представлена в следующих методах:

- добавление усиливающих анкеров в готовые или просверленные отверстия — химанкер;
- по нанесению дополнительных слоев бетона или раствора — ремонтные составы для конструкционного ремонта (класс R4 по ГОСТ Р 56378-2015);
- для инъектирования и заполнения трещин и полостей — материалы на основе микроцемента и низковязкой эпоксидной смолы.

В разд. 11 «Контроль анодных участков» представлен цементный материал для защиты арматуры и для адгезионного слоя при нанесении ремонтного состава.

## МАТЕРИАЛЫ ZIVKON

Материалы для ремонта, защиты и восстановления железобетонных конструкций применяются не только при реконструкции существующих сооружений, но часто и в процессе нового строительства. Нестабильность качества бетонных смесей, а также, зачастую, низкая квалификация строителей, приводит к необходимости проведения ремонтных работ еще на стадии возведения объекта.

Составы линейки ZIVKON (материалы для защиты и восстановления конструкций) делятся на следующие основные группы:

- ремонтные составы: цементные тиксотропные и литые материалы, инъекционные составы на цементной и эпоксидной основе;
- анкерные составы: химанкер на эпоксидной основе для создания анкерных креплений;
- герметизирующие составы: лента ТПО с монтажом на эпоксидный клей;
- защитные составы: материал для защиты стальной арматуры на цементной основе.

Классификацию материалов марки ZIVKON, представленных фирмой ООО «ИНГРИ», см. в табл. 1.

Остановимся более подробно на нескольких позициях из этой группы.

Таблица 1.  
Классификация материалов марки ZIVKON

Ремонтные составы			Анкерные составы	Герметизирующие составы	Защитные составы
Литьевые	Тиксотропные	Инъекционные			
Наливной конструкционный цементный ремсостав ZIVKON SL 2201	Тиксотропный конструкционный цементный ремсостав ZIVKON TX 1201	Микроцементный состав для инъекционно-уплотняющего ремонта ZIVKON RJ 5201	Двухкомпонентный состав на основе эпоксидной смолы для создания анкерных креплений, подверженных высоким механическим нагрузкам ZIVKON FX 6142	Лента ТПО ZIVKON TE	Состав для защиты стальной арматуры от коррозии и увеличения адгезии строительных растворов ZIVKON RP 7201
Наливной цементный ремсостав ZIVKON SL 2203		Эпоксидный состав для инъекционно-уплотняющего ремонта ZIVKON RJ 5101		Эпоксидный клей для лент ТПО ZIVKON FX 6001	
Наливной ремонтник со сверхбыстрым набором прочности ZIVKON SL 2241	Тиксотропный ремонтник с быстрым набором прочности ZIVKON TX 1241				
Наливной ремсостав для работы при отрицательных температурах ZIVKON SL 2281	Тиксотропный ремсостав для работы при отрицательных температурах ZIVKON TX 1281				

## ПРОБЛЕМА: КОРРОЗИЯ АРМАТУРЫ

Защита арматуры от коррозии — одна из основных задач в рамках обеспечения долговечности железобетонных конструкций. Часто дефекты, требующие ремонта, возникают из-за низкого качества СМР. Недостаточное уплотнение бетона, нарушение технологии прогрева, передозировка хлорсодержащих добавок, примеси в заполнителях в бетоне, вызывающие деструкцию, — вот только некоторые факторы, приводящие к коррозии арматуры. Кроме того, развитие этих дефектов усугубляют условия эксплуатации в агрессивных средах: карбонизация, воздействие морской воды, наличие в грунтовых водах хлоридов, сульфатов и т. д. Схему коррозионного процесса в железобетоне см. на рис. 1.



Рис. 1. Коррозия арматуры в бетоне

При ремонте бетона в таких условиях необходим специальный материал для защиты стальной арматуры. С этой целью выпускается состав ZIVKON RP 7201, увеличивающий, в том числе, адгезию строительных растворов. Дан-



Рис. 2. Коррозия арматуры в нижней зоне балки

ный материал зарекомендовал себя при нанесении тонких слоев ремонтного состава (менее 20 мм), когда изначально в конструкции не был предусмотрен необходимый защитный слой бетона. Еще бывают случаи, когда очищенная арматура по производственным причинам не может быть перекрыта ремсоставом в течение одной смены. Тогда ZIVKON RP 7201 позволяет защитить поверхность и избежать необходимости повторной очистки.

Наиболее распространенный дефект из практики – коррозия арматуры в нижней зоне густоармированных конструкций (рис. 2). Причинами процесса могут быть как низкое качество уплотнения бетона и несоблюдение защитного слоя при строительстве, так и конструктивные трещины, образовавшиеся при эксплуатации.

## ПРОБЛЕМА: ПУСТОТЫ ВОДОВОДА/ВОДОСБРОСА

В рамках заявленной темы требует внимания также инъекционный состав на основе микроцемента ZIVKON RJ 5201. В силу своих свойств и области применения такого рода материалы нечасто задействуются на объектах. Основные ограничения: неприменим при раскрытии трещин менее 0,4 мм, при герметизации водонесущих трещин требует предварительной водоостановки (как основной вариант, гидроактивными составами на основе полиуретана).

Микроцементный состав для инъекционно-уплотняющего ремонта ZIVKON RJ 5201 разработан для равнопрочного заполнения дефектов в массивных железобетонных конструкциях. Предназначен, прежде всего, для гидротехнических сооружений (плотин, водоводов, опор мостов и т. д.). Для обоснования в применении данного

материала обычно необходимо комплексное обследование конструкций, включая современные неразрушающие методы контроля.

Примеры объектов, выполненных по данной технологии: водоводы на Богучанской ГЭС и Вернетагильской ГРЭС.

Перед выполнением работ на Богучанской ГЭС было проведено обследование конструкций неразрушающим методом для определения разуплотненных зон, подлежащих инъектированию.

При применении литевых и тиксотропных составов особое внимание следует обратить на требования к подготовке поверхности, которые описаны в ТО. Использование того или иного материала, а чаще подбор системы, определяется по предписаниям проекта, типу дефекта, условиям производства работ и т. д.

## ТИПОВЫЕ УЗЛЫ РАЗДЕЛА ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

Типовые узлы, относящиеся к разделу гидроизоляции, требуют особого внимания. На такого рода объектах только инженер на месте может определить оптимальность применения той или иной технологии, типовые решения часто приходится корректировать.

Представленный узел герметизации водонесущего шва (трещины) предполагает устройство гидроизоляции только цементными материалами, без применения инъекции (рис. 3). На первом этапе выполняется устранение водопитока цементным быстросхватывающимся материалом WETISOL Ecto SF (цементной пробкой). На втором этапе по «сухому» шву выполняется заполнение шовным гидроизоляционным составом WETISOL Ecto Block P.

Протечки по плите покрытия эксплуатируемой кровли подземного паркинга – проблема на многих объектах.

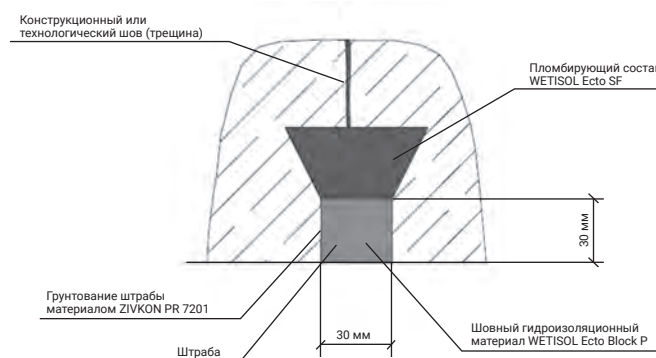


Рис. 3. Схема герметизации водонесущих швов (трещин)



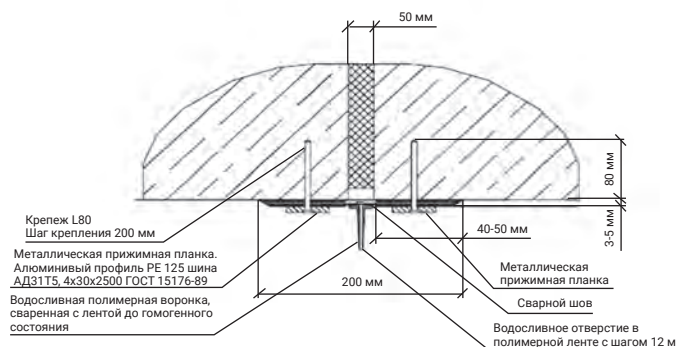


Рис. 4. Герметизация деформационного шва с системой водослива

Не всегда есть возможность доступа и восстановления гидроизоляции снаружи. Инъекционный способ (заполнение шва полиуретаном) часто не решает вопрос устранения дефекта. В этом случае эффективным решением являются прижимные системы герметизации швов. На данном узле (см. рис. 4) представлен вариант прижимной системы с лентой ТПО. Дополнительной степенью защиты в этом решении является устройство разгрузочных патрубков с отводом в действующую дренажную систему (типовое решение для паркингов – система водоотводящих лотков с приемком для откачки воды).

## ПОВЫШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПО ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ И ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

Выпускаемая гидроизоляционная добавка в бетон WETISOL Inseal 180 GP соответствует требованиям ГОСТ 12730.5-2019 и ГОСТ 24211-2008 и предназначена для повышения показателей по водонепроницаемости и прочности бетонных конструкций за счет заполнения пор кристаллическими новообразованиями. С помощью этого типа материалов, в том числе, возможна реализация первичной защиты (за счет водонепроницаемости бетона). Добавка проверена в независимых лабораториях и успешно опробована на объектах Российской Федерации и ближнего зарубежья.

Двухкомпонентный напыляемый гидроизоляционный состав на основе поликарбамидов позволяет эффективно выполнять гидроизоляционные работы на целом ряде сооружений. Широкое применение добавка получила при ремонте дефектных кровель. Со-

став имеет адгезию к битумным материалам, металлу, бетону, ПВХ и др. Это позволяет выполнять гидроизоляционный ковер при реконструкции без демонтажа существующего пирога кровли.

Принципиально такая схема прописана в СП 17.13330.2017, где рекомендуется для просушки утеплителя и верхних кровельных слоев устанавливать аэраторы. Применяется данная технология и в дорожном строительстве, транспортной инфраструктуре. Этот тип материала включен в ведомственные нормативные документы.

Выполнены объекты по гидроизоляции пролетных строений путепроводов, автодорожных тоннелей и тоннелей метро при устройстве открытым способом.

Преимущества данного типа материала: быстрый ввод в эксплуатацию (возможность легких нагрузок уже через 30 мин); возможность работы при минусовой температуре; стойкость к воздействию агрессивных сред; высокая эластичность.

Для получения защитных гидроизоляционных покрытий выпускается также двухкомпонентный материал на основе поликарбамидов WETISOL Spray 500XT. Особенностью его является возможность присыпки минеральным наполнителем (время отверждения 120 с при +20 °С) и укладки горячего асфальта (термостойкость до +220 °С). Состав специально доработан для дорожного строительства.

## ЭКСПЕРТИЗА

В рамках снижения зависимости от импортного сырья, с целью разработки новых материалов, технологий и инновационных продуктов мирового уровня, повышения качества и наукоемкости продукции, в компании ведется системная работа по обмену опытом с рядом научных центров и профильных институтов, в числе которых:

- Институт технической химии (Уральское отделение Российской академии наук), г. Пермь;
- Санкт-Петербургский Государственный архитектурно-строительный университет;
- ПАО «Уралхимпласт», г. Нижний Тагил;
- АО «ФНПЦ «НИИ прикладной химии», г. Сергиев Посад;
- Научно-исследовательский институт синтетического каучука, г. Санкт-Петербург.

Все испытания готовой продукции, проводимые периодически (согласно технологическим условиям), осуществляются в аккредитованных лабораториях сторонних организаций и подтверждаются соответствующими протоколами. ■

# «ТЕПЛОТОР» — КОМПЛЕКСНАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

А. С. ОРЛОВ,  
исполнительный директор ООО «Термалтекс»

*ИННОВАЦИОННЫЙ ЖИДКИЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ «ТЕПЛОТОР»™ СОХРАНИТ ТЕПЛО, УМЕНЬШИТ КОРРОЗИЮ ТРУБ И ПРЕДОТВРАТИТ ОБРАЗОВАНИЕ КОНДЕНСАТА. ПРОДУКТ ВЫПУСКАЕТСЯ КОМПАНИЕЙ «ТЕРМАЛТЕКС» НА СОБСТВЕННОМ СЕРТИФИЦИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ. ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛА МОЖЕТ БЫТЬ ЭФФЕКТИВНЫМ, В ТОМ ЧИСЛЕ, НА ОБЪЕКТАХ МЕТРОПОЛИТЕНА.*



## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА «ТЕПЛОТОР»

- утепление трубопроводов отопления и горячего водоснабжения в подвалах и чердаках жилых домов, а также трубопроводах, проходящих в подземных коммуникациях;
- предотвращение образования конденсата в трубопроводах систем подачи холодной воды и систем пожаротушения, проходящих в теплых помещениях, а также в системах вентиляции, находящихся в подземных коммуникациях и тоннелях метро;
- утепление коробов для прокладки труб как под землей, так и в подвальных помещениях

## ПРОБЛЕМА И РЕШЕНИЕ

Одной из причин, снижающих сроки эксплуатации тепловых сетей, является наружная коррозия труб. В данном случае наиболее характерны следующие виды коррозии: атмосферная — коррозия металла во влажной атмосфере тепловых каналов; почвенная — коррозия трубопроводов под слоем теплоизоляции, из-за капиллярно-пористой структуры применяемых материалов. Поскольку большинство теплотрасс имеет канальную прокладку, то атмосферная и почвенная коррозии являются основными.

Скорость подобных коррозионных процессов зависит от степени увлажнения поверхности металла и определяется температурой и влажностью воздуха. Наиболее тяжелые условия наблюдаются в зимний период. В это время из-за таяния снегового покрова над теплотрассами

ми, вызванного перепадами температуры, влага попадает в тепловые каналы. На всех обследованных объектах величина влагосодержания теплоизоляции составляет 20-30%, что увеличивает теплопотери в 2–2,5 раза. Намокание стен и перекрытий тепловых каналов вызывает разрушение силовых элементов. Поэтому микроклимат определяет не только коррозионные процессы в камерах и тепловых каналах, но и величину теплопотерь.

Все проблемы по утеплению труб, уменьшению их коррозии и предотвращению образования конденсата поможет решить жидкий керамический теплоизоляционный материал «ТЕПЛОТОР». Данный продукт имеет все необходимые сертификаты, в том числе свидетельство о включении в Реестр новых технологий, оборудования и материалов, применяемых в сфере ЖКХ и строительстве Российской Федерации, а также сертификат соответствия нормам и правилам технической эксплуатации жилищного фонда.

В России продвижением сверхтонких жидких керамических теплоизоляционных материалов в 2005 году занялась ООО «Термалтекс». Сначала это была исключительно иностранная продукция, не имевшая отечественных аналогов. Однако уже в 2007 году компания открыла собственное сертифицированное производство теплоизоляционного материала под торговой маркой «ТЕПЛОТОР» в Нижнем Новгороде.

### О ПРЕИМУЩЕСТВАХ

Преимущества «ТЕПЛОТОР»™ перед традиционными теплоизоляционными материалами:

1. Данный материал, нанесенный на трубы, позволяет не только снизить потери тепла в трубопроводах, но и визуально определить места протечек и максимально снизить затраты на ремонт. Так как продукт поставляется в основном белого цвета, то на трубе сразу будут видны места протечек по ржавым потекам. Ремонт таких участков осуществляется путем заваривания мест протечек и нанесением нового слоя «ТЕПЛОТОР»™ кистью в месте сварки. В случае небольшого уклона трубы при изоляции традиционными материалами протечки могут находиться в десятках метров от места, где вода выходит наружу, что затрудняет их поиск для ремонта, и требует полностью снимать изоляцию, чтобы впоследствии монтировать новую изоляцию.

2. Работу по изоляции вентилялей и задвижек невозможно качественно произвести традиционными материалами, которые поставляются в виде матов или рулонов. В этих случаях подходит только жидкая изоляция.

3. Многие трубы отопления и горячего водоснабжения крепятся очень близко к стенам, полу или потолку, что довольно серьезно затрудняет работы по изоляции труб

**«ТЕПЛОТОР» ИМЕЕТ КОНСИСТЕНЦИЮ ЖИДКОЙ СМЕТАНЫ И МОЖЕТ НАНОСИТЬСЯ КИСТЬЮ ИЛИ ВОЗДУШНЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С ПОМОЩЬЮ ПЕСКОСТРУЙНОГО ПИСТОЛЕТА И КОМПРЕССОРА ЛЮБЫМ ЧЕЛОВЕКОМ, УМЕЮЩИМ ОБРАЩАТЬСЯ С КРАСКОЙ. ОБЛАДАЕТ ОЧЕНЬ НИЗКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ, И ПОЭТОМУ 1 ММ СЛОЯ ДАННОГО МАТЕРИАЛА СОХРАНЯЕТ ТЕПЛО ЭКВИВАЛЕНТНО 50 ММ МИНВАТЫ ИЛИ ПЕНОПЛАСТА.**



минплитой или ППУ, так как эти материалы невозможно разместить в промежутке между трубой и поверхностью крепления.

4. Изоляцию труб (кистью или воздушным напылением с помощью пескоструйного пистолета и компрессора) может произвести любой человек, который умеет обращаться с краской, что также может снизить расходы — в сравнении с традиционной изоляцией, выполняемой квалифицированными рабочими.

5. Стоимость материала, работ по изоляции вентиляционных каналов и трубопроводов ниже стоимости изоляции традиционными материалами, а если приплюсовать и затраты на последующий текущий ремонт труб, то стоимость будет ниже на 25%.

**Подробнее об эффективности применения материала «ТЕПЛОТОР»™ — на сайте [www.teplotor.ru](http://www.teplotor.ru) в разделе «Медиа».**

**ТЕПЛОТОР™**

ООО «Термалтекс»  
603040, Нижний Новгород,  
ул. Сутырина, 8А, офис 3, 5  
Тел/факс: +7 (831) 282-02-65,  
моб.: +7(910)389-20-20  
E--mail: [teplotor@yandex.ru](mailto:teplotor@yandex.ru)  
[www.teplotor.ru](http://www.teplotor.ru)

# РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Л. В. МАКОВСКИЙ, к. т. н., профессор;  
В. В. КРАВЧЕНКО, к. т. н., доцент  
(МАДИ, кафедра «Мосты, тоннели и строительные конструкции»)

*РАССМАТРИВАЮТСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА, АНАЛИЗИРУЕТСЯ ВЛИЯНИЕ СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ НА СОСТОЯНИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ. ОТМЕЧАЕТСЯ, ЧТО С ЦЕЛЬЮ ОГРАНИЧЕНИЯ НАРУШЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ УСЛОВИЙ ДОЛЖНЫ БЫТЬ ПРИНЯТЫ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ПЛАНИРОВОЧНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕРЫ. НА ОСНОВАНИИ СОВРЕМЕННОГО ОПЫТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ РАЗРАБОТАНЫ ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ЗАЩИТУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.*

**Н**а всех этапах подземного строительства необходимо производить систематический мониторинг сдвижений и деформаций грунтового массива, поверхности земли, зданий и инженерных коммуникаций. Решение возникающих экологических проблем в то же время требует дополнительных капитальных вложений, которые окупаются за счет сохранения городской планировки и застройки, архитектурных памятников, парков и скверов, обеспечения нормальных атмосферных условий, снижения до допустимых значений уровней шума и вибрации.

## ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия наблюдается значительное расширение масштабов подземного строительства в крупных городах, мегаполисах. Строительный процесс при этом неизбежно вызывает нарушение их нормальной жизни. Ухудшаются условия движения транспорта и пешеходов, повышается загазованность и запыленность воздуха, загрязняются поверхностные и грунтовые воды, возрастает уровень шума и вибрации, возникают сдвиги и деформации грунтового массива, возможны повреждения наземных зданий, сооружений и инженерных коммуникаций. В связи с этим необходимо при проектировании и строительстве тоннелей и других подземных сооружений, наряду с техническими, строго соблюдать экологические требования, направленные на минимизацию

нарушений окружающей среды от вредного воздействия подземно-строительных работ.

Экологические требования должны учитывать особенности градостроительных и транспортных условий в районе стройки, в соответствии с которыми разрабатываются проектные решения по организации и технологии строительства данного подземного сооружения.

Далее рассматриваются различные аспекты экологической проблемы и приводятся практические рекомендации, направленные на ограничение нарушений нормальной жизни в городах, на минимизацию сдвижений и деформаций грунтового массива и поверхности земли, на защиту зданий, сооружений и инженерных коммуникаций.

## ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ И ИХ ВЫПОЛНЕНИЕ

Строительство подземных сооружений сопряжено, как правило, с нарушением поверхностных условий, причем характер и степень нарушений зависят от места расположения объекта, глубины его заложения, организации и технологии ведения работ, видов применяемого строительного оборудования. Требования охраны городской среды касаются, прежде всего, организации и оснащения стройплощадок. Они могут располагаться вдоль всей трассы подземного сооружения (при открытых способах работ), размещаться только у порталов тоннеля, над шахтным стволом или наклонным ходом

(при закрытых способах) или в месте опускания колодца или кессона (при опускном способе) и должны иметь хорошие подъездные пути. Размеры и очертание в плане строительной площадки определяются условиями планировки и застройки данного городского района, особенностями движения наземного транспорта [1, 2].

Все временные здания и сооружения на стройплощадке следует размещать с учетом минимальных нарушений окружающей среды и жизни населения в прилегающих районах, соблюдения санитарных и противопожарных требований, сохранения систем городского хозяйства.

Учитывая ограниченные возможности отвода городской территории, в большинстве случаев на стройплощадке располагают минимальное количество временных зданий, вынося большинство бытовых помещений в арендуемые на время строительства близлежащие здания.

Во избежание загрязнения городских водотоков или водоемов, удаляемые со стройплощадки грунтовые воды следует пропускать через грязеотстойники, бензо-маслоуловители и биофильтры.

Наиболее неблагоприятное влияние на городскую среду оказывают работы, выполняемые котлованным способом на застроенной территории в условиях интенсивного автомобильного и пешеходного движения. Необходимость раскрытия широких (до 40-60 м по верху) и глубоких (до 12-15 м) котлованов и ведения работ с поверхности земли по всей трассе подземного сооружения требует частичного или полного закрытия движения транспорта и пешеходов в районе строительства на период производства работ. При этом могут потребоваться перекладки трамвайных путей, установка дополнительного светофорного регулирования, обустройство новых пешеходных переходов и т. п.

Избежать этого можно устройством через котлованы временных мостов-перекрытий, по которым в период строительства пропускают наземный транспорт и пешеходов. Применяют деревянные, металлические или железобетонные мостовые конструкции (рис. 1).

К недостаткам открытых способов строительства, с точки зрения охраны городской среды, следует отнести также необходимость выполнения больших объемов работ по переустройству подземных коммуникаций с временным их отключением, что также неблагоприятно отражается на жизни города.

Многие технологические операции при открытых способах работ сопровождаются сильным шумом, вибрацией и газовыделением, что отрицательно сказывается на состоянии воздушного бассейна и условиях проживания людей в этом районе. В связи с этим на поверхности земли следует использовать машины, механизмы и оборудование, оснащенные глушителями шума, газо-



Рис. 1. Временный металлический мост через котлован

очистителями и другими приспособлениями, снижающими вредное воздействие на окружающую среду [2].

В условиях плотной городской застройки и интенсивного уличного движения наиболее эффективен полукрытый траншейный способ работ, в минимальной степени нарушающий поверхностные условия и позволяющий быстро восстановить движение транспорта над строящимся подземным сооружением.

Использование при траншейном способе технологии «стена в грунте» избавляет от необходимости устройства свайной или шпунтовой крепи, искусственного понижения уровня грунтовых вод, усиления фундаментов, расположенных поблизости зданий и инженерных коммуникаций [3].

При строительстве подземных сооружений закрытыми способами поверхностные условия нарушаются значительно в меньшей степени, чем при открытых и полукрытых способах. Основные нарушения связаны с производством буровзрывных работ, при которых вибрация передается через грунтовый массив и может вызвать структурные повреждения зданий.

В настоящее время при строительстве подземных сооружений в скальных и полускальных породах стремятся исключить применение буровзрывных работ, используя для разработки породы механизированные щиты или тоннелепроходческие машины.

Определенные нарушения поверхностных условий, связанные с изменением бытового режима и загрязнения подземных вод, имеют место при применении водопонижения, искусственного замораживания, химического закрепления грунтов, струйной цементации и компенсационного нагнетания.

Используя указанные методы, необходимо в каждом конкретном случае оценивать возможные экологические последствия и принимать меры по сохранению

естественного гидрологического баланса и предотвращать попадание токсичных веществ в грунтовые воды.

При строительстве подземных сооружений следует предусмотреть также возможность сохранения природных ландшафтов, гидрологического и гидрогеологического режимов подземных и поверхностных вод, защиты от повреждения инженерных коммуникаций и пр.

При котлованном способе работ нарушения грунтового массива происходят в пределах призм обрушения, что обусловлено, главным образом, переборами и выпусками грунта.

При щитовой проходке наибольшую опасность представляют осадки грунтового массива за счет выпусков грунта в забое щита, в зоне хвостовой оболочки, а также за счет деформации оболочки щита и тоннельной обделки.

Сдвиги и деформации грунтового массива при проходке тоннелей горным способом могут быть вызваны переборами грунта в забое и многочисленными перекреплениями.

При строительстве тоннелей мелкого заложения способом продавливания за счет смещения грунтовой толщи перед ножевой частью возникают преимущественно горизонтальные сдвиги и деформации поверхности земли.

Применение искусственного водопонижения и замораживания в подземном строительстве в большинстве случаев также сопровождается сдвигами и деформациями поверхности земли за счет изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива.

В результате проявления сдвигов и деформаций грунтового массива возможны осадки фундаментов расположенных поблизости зданий и подземных коммуникаций, повреждения дорожной одежды и рельсовых путей над строящимся подземным сооружением, что отрицательно влияет на условия движения наземного транспорта. Все это требует принятия планировочных, конструктивных и технологических мер по ограничению сдвигов и деформаций поверхности земли, по защите зданий и инженерных коммуникаций.

При проходке тоннелей через зоны нарушенных и слабоустойчивых грунтов весьма эффективна опережающая крепь (анкеры, экраны из труб, бетонные своды), которую устраивают из забоя выработки или из подземных камер, а затем под прикрытием этой крепи раскрывают выработку и возводят обделку подземного сооружения.

Проходка тоннелей мелкого заложения с опережающей крепью обеспечивает снижение деформаций грунтового массива и поверхности земли в 2-3 раза по сравнению с Новым австрийским способом и в 4-5 раз по сравнению с традиционными способами работ в аналогичных грунтовых условиях.

Для ликвидации причин возникновения сдвигов и деформаций грунтового массива и поверхности земли при щитовой проходке принимают специальные меры по предотвращению выпусков грунта в забое и на участке хвостовой оболочки щита, а также по устранению начальной эллиптичности колец обделки.

В несвязных грунтах естественной влажности получили распространение механизированные щиты с грунтовым пригрузом, а в водонасыщенных грунтах — с бентонитовым пригрузом. Находят также применение «миксощиты» для проходки в смешанных грунтах.

При проходке тоннелей щитами важное значение для уменьшения подвижек грунта имеет своевременное и равномерное заполнение строительного зазора непосредственно за монтируемым кольцом обделки. Это обеспечивает заполнение заобделочного пространства до передвижки щита и уменьшает максимальные осадки на 20-30%. Для нагнетания за обделку используют цементно-бентонитовую смесь, мелкий фракционированный гравий и пр., подавая их насосами непрерывного действия через отверстия в элементах обделки.

При строительстве городских тоннелей способом продавливания для уменьшения величины горизонтальных сдвигов грунта стремятся снизить силы трения между обделкой и грунтом, применяя металлические антифрикционные ленты, нагнетая за обделку бентонитовую суспензию или другие антифрикционные составы, а также применяя опережающие экраны из труб.

Одной из наиболее радикальных мер по устранению или уменьшению сдвигов и деформаций поверхности земли при строительстве городских подземных сооружений является применение специальных способов закрепления неустойчивых грунтов. Так, путем их химического закрепления или искусственного замораживания над подземной выработкой создается несущий свод, воспринимающий давление вышележащей грунтовой толщи и практически устраняющий сдвиги и деформации поверхности. Работы по химическому закреплению или замораживанию грунта осуществляются как с поверхности земли, так и из подземных выработок. В последнем случае необходимое оборудование размещается в подземной выработке и поверхностные условия во время строительства практически не нарушаются.

В тех случаях, когда приведенные выше конструктивно-технологические способы не позволяют полностью исключить нарушение поверхностных условий, принимают специальные меры по защите зданий и инженерных коммуникаций, расположенных в зоне влияния строящегося подземного сооружения.

Конструктивные и профилактические защитные меры должны гарантировать полную или частичную защиту

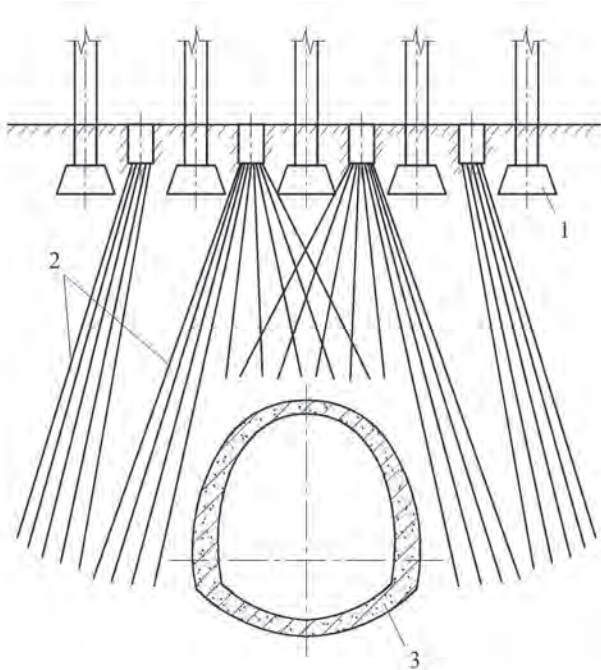


Рис. 2. Схема защитного зонта из свай над строящимся тоннелем:

1 — фундаменты здания; 2 — буровые сваи; 3 — тоннель

здания от влияния подземных выработок. При частичной защите допускаются незначительные повреждения конструктивных элементов здания, которые могут быть легко устранены при проведении текущего ремонта. Профилактические меры заключаются в обеспечении надежного опирания перекрытий зданий на стены и прогоны, в заполнении дверных и оконных проемов кирпичной кладкой или обрамлении их стальными обоями.

Конструктивные меры предусматривают усиление несущих конструкций зданий и их фундаментов, причем здание в целом может взаимодействовать с грунтом основания по жесткой или податливой схеме.

Если подземное сооружение располагается непосредственно под фундаментами зданий, конструктивные меры предусматривают разделение на отсеки деформационными швами, усиление зданий (отсеков) тяжами, поясами, распорками, плитными фундаментами, выравнивание наземной части зданий (отсеков) домкратами, устройство защитного зонта из свай над подземным сооружением.

В ряде случаев для сохранения зданий их поддерживают системой гидравлических домкратов, установленных между фундаментной и наземной частью. По мере возрастания осадок основания здание поднимают на высоту, равную величине осадки, удерживая его надземную часть на требуемом уровне [3, 4].

Эффективным средством защиты зданий от деформаций основания может служить устройство защитного зонта над подземным сооружением. Буровые сваи, наклоненные под разными углами и заложенные на разную глубину, армируют грунт, увеличивая его сцепление и внутреннее трение, и предотвращают деформации основания под зданиями (рис.2).

Более эффективным средством защиты зданий является устройство ограждающих стен между фундаментом здания и строящимся подземным сооружением. Вертикальные или слабонаклонные ограждения возводят из стального шпунта, буронабивных свай или сплошных траншейных стен, сооружаемых по технологии «стена в грунте». В случае необходимости ограждающие стены раскрепляют грунтовыми анкерами.

Во избежание деформаций зданий, расположенных по трассе метрополитена в Минске [4], применили защитные стенки из двух рядов буронабивных микросвай диаметром 250 мм (рис. 3).

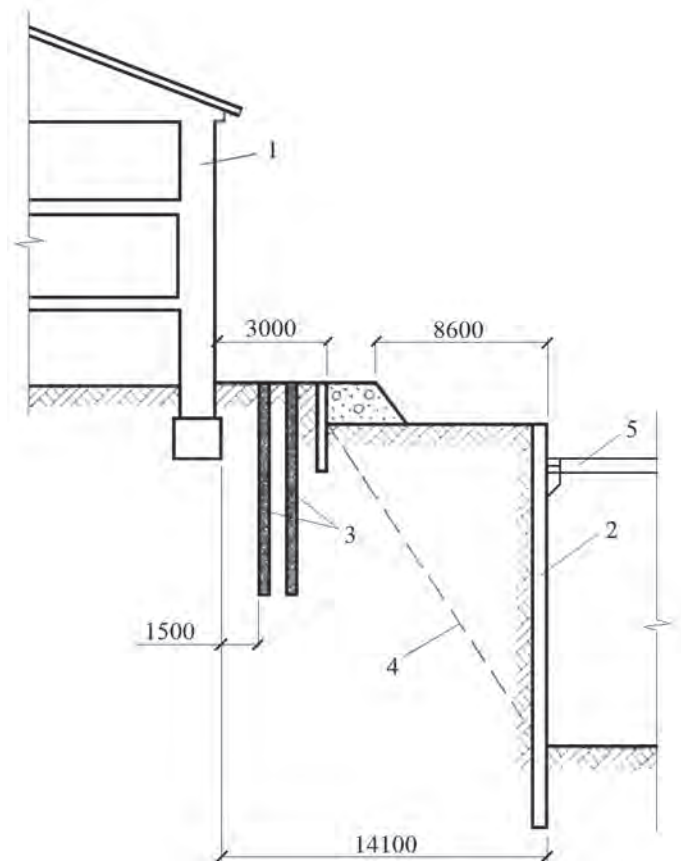


Рис. 3. Схема устройства защитных стенок при строительстве метрополитена в Минске:

1 — здание; 2 — ограждающая конструкция; 3 — два ряда буронабивных микросвай диаметром 250 мм; 4 — призма скольжения; 5 — распорная система

При строительстве тоннелей мелкого заложения непосредственно под зданиями устраивают временную или постоянную опорно-ограждающую конструкцию, включающую в себя горизонтальное несущее перекрытие плитного, балочного или решетчатого типа и вертикальные сваи или траншейные стены, передающие нагрузку от здания на грунт.

Для шумо- и виброизоляции фундаментов зданий и опорно-ограждающих конструкций выполняют защитные покрытия тоннельных обделок. В ряде случаев для защиты от вибрации предусматривают отделение на-

земной части здания от фундамента демпфирующими прокладками. Их изготавливают из листов армированной резины толщиной 50-60 мм, покрытых двумя стальными листами. Чтобы предотвратить горизонтальные смещения здания, устанавливают боковые амортизаторы — ограничители [4].

Таким образом, принятие комплексных конструктивно-технологических защитных мер дает возможность значительно уменьшить деформации поверхности земли и обеспечить сохранность зданий и инженерных коммуникаций вблизи строящегося подземного сооружения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строительство подземных сооружений неизбежно вызывает нарушения нормальной жизни города. С целью минимизации нарушений поверхностных условий строить необходимо с обязательным учетом экологических требований. Прежде всего, это касается минимального отвода территории под стройплощадки, централизованной доставки необходимых материалов и оборудования, обязательного использования очистных сооружений, сохранения и рекультивации зеленых насаждений. При строительстве подземных сооружений в открытых котлованах для пропуска наземного транспорта и пешеходов целесообразно использовать временные мосты-перекрытия и сборно-разборные эстакады.

При строительстве протяженных тоннелей наиболее эффективно применение тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), включающих в себя различные типы щитов и тоннельных машин. Однако это не исключает проявление сдвижений и деформаций грунтового массива и поверхности земли, повреждения зданий и инженерных коммуникаций.

Ограничение сдвижений и деформаций достигается соответствующим расположением подземного сооружения в плане и профиле, применением гибких обделок, устройством контурной и опережающей крепей, механизированных щитов с призабойными пригрузочными камерами, своевременным и качественным заполнением строительного зазора в

зоне хвостовой оболочки щита. При продавливании тоннелей во избежание горизонтальных сдвижений грунта следует применять антифрикционные мероприятия или вести работы под защитой экранов из труб.

В водонасыщенных грунтах для предотвращения осадок целесообразно применять горизонтальное искусственное замораживание или химическое закрепление грунтов.

Для защиты от повреждений зданий, помимо профилактических, следует принимать конструктивные меры по усилению несущих конструкций зданий и их фундаментов, разделять здания на отсеки деформационными швами, укреплять их тяжами, поясами, распорками, плитными фундаментами, устраивать защитные зонты из свай над подземным сооружением, ограждающие стены в грунте, закреплять грунт под фундаментом струйной цементацией, силикатизацией, подводить дополнительные свайные фундаменты.

В процессе строительства подземного сооружения необходимо вести систематический мониторинг сдвижений и деформаций грунтового массива и поверхности земли, зданий и инженерных коммуникаций.

Перечисленные выше планировочные, конструктивные и технологические меры хотя и требуют дополнительных капитальных вложений, однако позволяют вести строительство подземных сооружений с минимальными нагрузками городской среды, за счет чего достигается существенный социально-экономический эффект. ■

## Литература

1. Строительство автодорожных и городских тоннелей/ Под ред. проф. Л.В. Маковского. — М.: РИОР: Инфра — М.: 2014. — 397с.
2. Л.В. Маковский, В.В. Кравченко, Н.А. Сула. Строительство городских автотранспортных тоннелей в сложных условиях. — М.: КНОРУС, 2019. — 276 с.
3. В.Е. Меркин, М.Г. Зерцалов, Е.Н. Петрова. Подземные сооружения транспортного назначения. — М.: Инфра- Инженерия, 2020. — 432с.
4. Интернет-ресурсы:  
URL:Режим доступа <https://www.lmgt.ru/activity/tech/vliyanie-stroitelstva-tonnelei-na-okruzhaushuu-sredu-v-unikalnih-prirodno-geograficheskikh-usloviyah-25.02.21>, свободный. — (Дата обращения 28.06.2023);  
URL:Режим доступа <https://mks-onlain.ru/chem-vyzvano-burnoye-stroitelstvo-tonneley-na-planete/>, свободный. — (Дата обращения 28.06.2023);  
URL:Режим доступа <https://pandia.ru/text/81/506/78477.php>, свободный. — (Дата обращения 28.06.2023).



# СТТ ЭХРО

ОСНОВА ВАШЕГО УСПЕХА

Главная выставка строительной  
техники и технологий в России

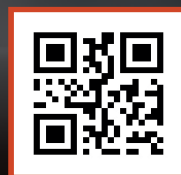
**28–31 мая 2024**

Крокус Экспо, Москва



## Разделы выставки:

- Строительная техника и транспорт
- Производство строительных материалов
- Добыча, обогащение и транспортировка полезных ископаемых
- Запчасти и комплектующие для машин и механизмов. Смазочные материалы



[ctt-expo.ru](http://ctt-expo.ru)

Организатор

**SIGMA**  
**ЭХРО**

При поддержке

**Крокус Экспо**  
Международный выставочный центр