

# Подземные горизонты

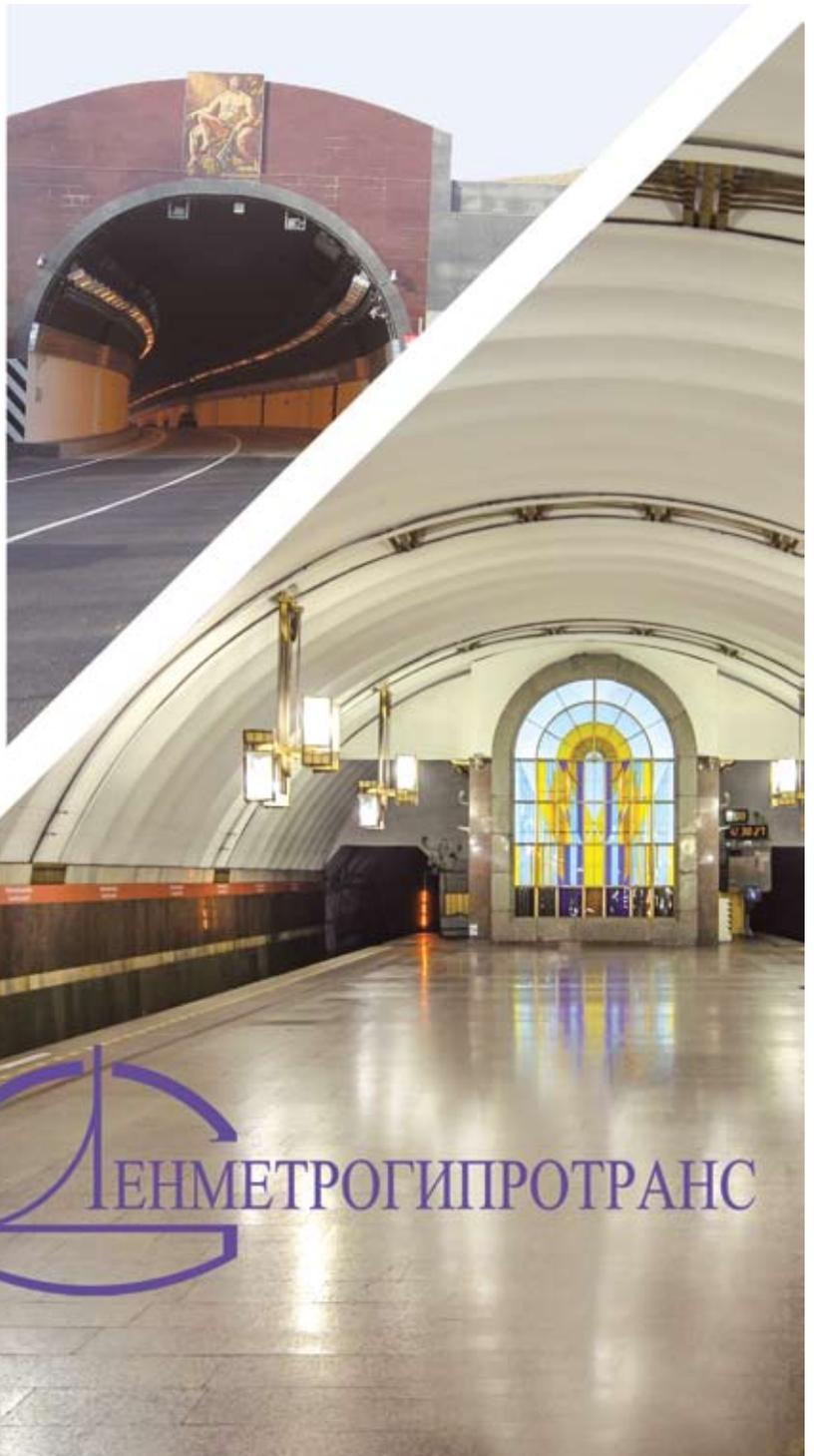
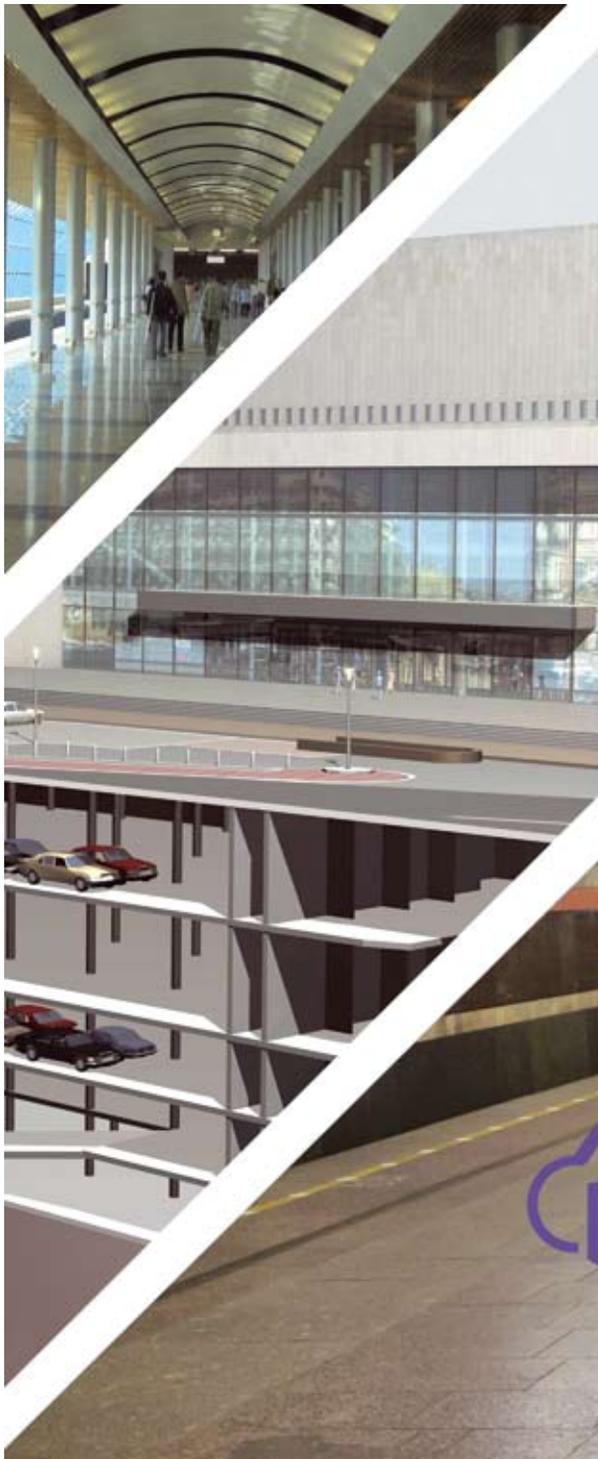
*Underground Horizons*

Ноябрь

№18

2018

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



ЕНМЕТРОГИПРОТРАНС

# ЭКЗОСТРА

Компания «Экзостра»  
поставляет полную  
линейку надувных пакеров  
различного диаметра  
производства Георго (Бельгия)



**ДЛЯ ВОСХОДЯЩЕЙ  
И МАНЖЕТНОЙ  
ЦЕМЕНТАЦИИ**

117152, Россия, г. Москва,  
Загородное шоссе, д. 10, корп. 4,  
Тел.: +7 (495) 999-01-23

[www.exostr.ru](http://www.exostr.ru)  
[mail@exostr.ru](mailto:mail@exostr.ru)

# Специализированный поставщик бурового оборудования для геотехнических работ

Полная линейка надувных пакеров девяти диаметров от 28 до 170 мм. Все пакеры изготовлены из натурального каучука по технологии BIMBAR и армированы двумя слоями стального корда. Надувные пакеры Geopro BIMBAR часто используются для закачки цементного раствора в породу и прочих геотехнических работ, связанных с конструктивным усилением и/или гидроизоляцией заглубленных фундаментов, тоннелей, дамб и шахт. Благодаря модульной конструкции все пакеры надежны и просты в эксплуатации. Надувные элементы можно заменять в полевых условиях, а одинарные пакеры легко трансформируются в сдвоенные.



Номинальный диаметр пакера (мм)	Верхняя соединительная муфта	Внутренний диаметр центральной трубки (мм)	Максимальный диаметр расширения (мм)	Максимальный диаметр скважины (мм)	Входные отверстия
28	3/8" BSP	8	55	50	1 x 1/8" BSP
30	3/8" BSP	8	55	50	1 x 1/8" BSP
42	1/2" BSP	17	98	90	2 x 1/8" BSP
56	3/4" BSP	20	125	110	2 x 1/8" BSP
72	1" 1/4 BSP	35	160	150	2 x 1/8" BSP
85	1" 1/4 BSP	35	185	170	2 x 1/8" BSP
102	2" BSP	53	200	190	2 x 1/8" BSP
130	3" BSP	83	270	240	2 x 1/4" BSP
170	3" BSP	83	350	330	2 x 1/4" BSP



## Уважаемые читатели!



Предлагаем вашему вниманию ноябрьский выпуск журнала «Подземные горизонты». В номере рассказывается об истории и современном состоянии метроостроения в Республике Беларусь, о развитии московской подземки, а также о ситуации вокруг генерального подрядчика по строительству метро в Северной столице.

Сегодня подразделения петербургского ОАО «Метрострой» переживают не лучшие времена, некоторые из них находятся на грани банкротства. На страницах номера мы попробовали проанализировать сложившуюся ситуацию и определить шаги, необходимые для решения проблем в области подземного строительства города. Этой теме, в частности, посвящено интервью генерального директора Ассоциации «Объединение строителей подземной, инженерной и транспортной инфраструктуры» Сергея Алпатова.

Несравнимо лучше обстоят дела с освоением подземного пространства в Московском регионе. Так, в 2018 году в московской подземке развернуты беспрецедентные по масштабам и скорости выполнения работы. В частности, к концу года планируется ввести в эксплуатацию 24 станции. О ходе этих работ в своем интервью рассказывает заместитель мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства Марат Хуснуллин.

В Республике Беларусь столичный метрополитен тоже активно развивается, в настоящее время строятся сразу несколько станций третьей линии. Не случайно именно в Минске с участием тоннельных ассоциаций России и Беларуси был организован научно-технический форум «Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного пространства». Технологические подробности строительства метро в Минске изложены в ряде материалов, подготовленных участниками этого форума.

*С уважением, главный редактор журнала «Подземные горизонты» Наталья Алхимова и весь творческий коллектив*

## Журнал «ПОДЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТЫ»

Официальный информационный партнер:

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

### №18 ноябрь/2018

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 «Информационное агентство «ТехИнформ»**

Генеральный директор **Регина Фомина**

#### РЕДАКЦИЯ:

Главный редактор

**Наталья Алхимова** (profi@techinform-press.ru)

Заместитель главного редактора

**Сергей Зубарев** (redactor@techinform-press.ru)

Дизайнер, бильд-редактор

**Лидия Шундалова** (art@techinform-press.ru)

Руководитель службы информации

**Илья Безручко** (bezruchko@techinform-press.ru)

Корректор **Мила Дмитриева**

Руководитель отдела стратегических проектов

**Людмила Алексеева** (editor@techinform-press.ru)

Руководитель службы рекламы,

маркетинга и выставочной деятельности

**Нелля Кокина** (roads@techinform-press.ru)

Руководитель отдела подписки и распространения

**Нина Бочкова** (public@techinform-press.ru)

#### ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

**В.Н. Александров**, специальный представитель губернатора Санкт-Петербурга по метро-строению и подземному строительству

**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**, вице-президент АО «Объединение «ИНГЕОКОМ»

**А.С. Кириллов**, генеральный директор ООО «ГНБ-Лидер»

**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. Рыжковский**, к.т.н., президент компании MTR Ltd

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

**Е.В. Щекудов**, к.т.н., директор филиала ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»

Адрес редакции: 192007, Санкт-Петербург, ул. Тамбовская, д. 8, лит. Б, оф. 35  
Тел./факс: (812) 490-47-65; (812) 905-94-36  
office@techinform-press.ru  
www.techinform-press.ru

Установочный тираж 8 тыс. экз. Цена свободная.

Подписано в печать: 30.11.2018. Заказ №

Отпечатано в типографии LPRINT,

197183 г. Санкт-Петербург,

ул. Сабировская, д.37, www.l-print.spb.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  
**(812) 490-47-65** и на сайте **www.techinform-press.ru**



**MiningWorld**  
Russia

# Mining World

23-я Международная выставка  
машин и оборудования  
для добычи, обогащения  
и транспортировки  
полезных ископаемых

23–25 апреля 2019  
Москва, Крокус Экспо

Подробнее о выставке  
[miningworld.ru](http://miningworld.ru)



Пройдет совместно  
с выставками



**MIOGE**  
Moscow



**АНАЛИТИКА**  
ЭКСПО



Организатор  
Группа компаний ITE  
+7 (499) 750 08 28





## Содержание / Contents

### События / Events

- 6 Новости отрасли  
9 Российские ученые подключились к решению градостроительных проблем



Стр. 6–8

### Экспертное мнение / Expert Opinion

- 10 Марат Хуснуллин о транспортном прорыве столицы  
14 Московские ТПУ: в общемировом тренде (интервью с А.А. Суниевым)  
16 Сергей Алпатов о кризисе в Петербурге и перспективах в России



Стр. 10–13



Стр. 14–15

### Исследования / Research works

- 20 О.А. Маковецкий, С.С. Зуев. О влиянии подтопления городских территорий на подземное строительство (ОАО «Нью Граунд»)  
24 В.А. Гарбер, Н.Н. Симонов, И.М. Малый. Разработка BIM-технологии для Московского метрополитена



Стр. 16–19



Стр. 24–27

### Строительный практикум / Workshop for building

- 28 В.Е. Русанов. Современный опыт и нормативная база проектирования фибробетонных обделок тоннелей  
33 А.Н. Ревва. Импортозамещение в сфере горностроительных работ (ОАО «Метрострой»)



Стр. 28–32



Стр. 33–35



Стр. 38–43



Стр. 44–50



Стр. 51–55



Стр. 56–60



Стр. 64–65



Стр. 66–69



Стр. 70–72

- 36 С.Ф. Андреев. Применение тампонажного раствора за тоннельной обделкой

### Тоннели / Tunnels

- 38 Н.И. Кулагин, В.А. Маслак, К.П. Безродный, М.О. Лебедев. О транспортном переходе на остров Сахалин (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»)

### Мировой опыт / International Practices

- 44 Л.Л. Кауфман. Реконструкция транспортного комплекса Бостона  
51 Р.Л. Гучек, А.П. Михайлов. «Принцип Лунарди» в Бакинском метрополитене

### Метрополитены / Subway

- 56 П.А. Воронин, Д.С. Конюхов, Д.С. Петунина, Ю.В. Ломоносов. Комплексное научно-техническое сопровождение строительства метрополитена в Москве  
61 Тенденции, проблемы и перспективы развития подземного пространства  
64 На строящихся станционных комплексах  
66 Н. Г. Давтян, А.Т. Есаян, О.Н. Давтян. Двухсводчатые станции метрополитена  
70 Многострадальный радиус, или Страсти по Метрострою

# ХVIII ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ-ЧЛЕНОВ МАС ГНБ

11 – 12 ФЕВРАЛЯ 2019, ОТЕЛЬ “УНИКС”, ГОРОД КАЗАНЬ



ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛОВ БЕСТРАНШЕЙНОГО ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

## В ПРОГРАММЕ КОНФЕРЕНЦИИ:

**11 ФЕВРАЛЯ 2019 ГОДА** ЕЖЕГОДНОЕ СОБРАНИЕ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ-ЧЛЕНОВ МАС ГНБ, ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ КОНФЕРЕНЦИИ С ДОКЛАДАМИ ВЕДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ ОТРАСЛИ ПО ВОПРОСАМ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВАМ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ГНБ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ, НАГРАЖДЕНИЕ ЛУЧШИХ КОМПАНИЙ ЗА ЗАСЛУГИ В ОБЛАСТИ ГНБ, ПРИНЯТИЕ НОВЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОСТАВ АССОЦИАЦИИ.

**12 ФЕВРАЛЯ 2019 ГОДА** - КРУГЛЫЙ СТОЛ С ОБСУЖДЕНИЕМ ВОПРОСОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ БЕСТРАНШЕЙНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ТРУБОПРОВОДОВ ПО ТЕХНОЛОГИИ ГНБ.

МАС ГНБ Г. КАЗАНЬ, УЛ. ТУРБИНАЯ, Д. 3,  
ТЕЛ.: 278-75-08 EMAIL: INFO@MASGNB.RU

# НОВОСТИ ОТРАСЛИ

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ: ОПЫТ BASF

**По разным оценкам, общее количество гидротехнических сооружений в России составляет от 35 до 40 тыс., а численность населения, проживающего в непосредственной близости от них, достигает 10 млн человек. При этом многие объекты в течение 50 и более лет эксплуатируются без ремонта, что не только снижает эффективность их использования, но и превращает в источники потенциальной опасности.**

Более 2 тыс. гидротехнических сооружений, согласно данным 2018 года, вообще остаются бесхозными. В их числе плотины, водосбросные сооружения, тоннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы. Однако, по мнению экспертов, существующие на сегодняшний день технологии делают возможным за достаточно короткий срок отремонтировать и привести в рабочее состояние большинство даже аварийных объектов.

«Появление специальных решений для ремонта бетона, в том числе в экстремальных условиях, позволило пересмотреть традиционный подход к ремонту гидротехнических сооружений и разработать современную технологию их восстановления, — объясняет Михаил Смирнов, продакт-менеджер направления «Ремонт бетона» концерна BASF. — Принципиальным отличием стала возможность подбора продукта, обладающего необходимыми параметрами для оптимального сочетания ремонтного состава с бетонным основанием. Поэтому сегодня мы можем практически в любой ситуации обеспечить сплошной контакт ремонтного материала и бетонной поверхности, высокую прочность сцепления, морозостойкость контактной зоны и совместную работу решения и ремонтируемой конструкции».

В качестве иллюстрации эксперт приводит опыт применения специальных составов BASF серии MasterEmaco для ремонта бетона на объектах Беломорско-Балтийского канала. Проект стартовал в 2008 году. К тому моменту железобетонные конструк-



ции шлюзов эксплуатировались уже более 50 лет, а отдельные объекты — с середины 40-х гг. годов XX века. Они не только оказались в ограниченной работоспособности, но и уже не отвечали требованиям безопасности.

После детального обследования сооружений для их ремонта было решено использовать бетон, приготовленный на основе расширяющегося (безусадочного) цемента MasterEmaco A 640, отличающегося высокой ранней и конечной прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью, хорошей адгезией к бетону и арматуре.

Ремонтные работы были проведены на плотине №21 в пос. Надвоицы (2008–2009 гг.) и девяти шлюзах. Помимо решений на основе цемента MasterEmaco A 640, используемого для ремонта глубоких разрушений, применялся и ряд других материалов, в том числе быстротвердеющие смеси, микроцемент для ремонта трещин, ингибиторы коррозии и др. Кроме того, для ухода за свежееуложенным бетоном было использовано специальное пленкообразующее средство MasterKure 216 WB на основе парафина. Это позволило предотвратить неравномерное испарение воды с поверхности ремонтного состава и образование поверхностных трещин.

Некоторые решения применялись впервые. Например, к их числу относится однокомпонентный высокопрочный безусадочный состав с высоким модулем упругости MasterEmaco S 5400, предназначенный для конструкционного ремонта бетона. За счет большой допустимой толщины его нанесения (5–50 мм на один слой) специалистам компании «БалтМонолитСтрой» удалось унифицировать технологию и сразу нанести материал механизированным способом по всей высоте стен шлюзовых камер в один слой вместо двух.

«Ремонт всех объектов Беломорско-Балтийского канала проводился в холодное время года, — отмечает Михаил Смирнов. — Несмотря на сложность работ с цементными материалами в таких условиях, за десять лет, которые прошли с момента ремонта на первом объекте, никаких нареканий от заказчика по поводу качества примененных материалов и состояния гидротехнических сооружений не поступало. Стабильный положительный результат, которого нам удалось добиться, позволил использовать аналогичные решения на других объектах, в частности в ходе реализации ремонтных работ на сооружениях Волго-Балтийского канала и на Павловском шлюзе».

## РАЗВИТИЕ МЕТРО — СИЛЬНАЯ СТОРОНА МОСКВЫ



Москва вошла в топ-10 мировых мегаполисов по удобству и эффективности транспортной системы в глобальном исследовании международной консалтинговой компании McKinsey. Как одно из важнейших достижений нашей столицы, отмечается расширение метрополитена: с 2010 по 2017 гг. была построена 61 новая станция, включая запуск Московского центрального кольца. Другими сильными сторонами Москвы аналитики McKinsey называют развитие билетной системы и электронных сервисов. В целом же все принятые меры привели к увеличению на 10% доли общественного транспорта в общем числе поездок, совершаемых в городе, по сравнению с 2010 годом.

## ПОДЗЕМКА ДВИЖЕТСЯ К ТРОИЦКУ



Как сообщил руководитель департамента строительства столицы Андрей Бочкарев, на присоединенные территории Новой Москвы придет новая линия метро с десятью станциями — Коммунарская. Ее длина составит около 22 км. Строить предстоит ее в два этапа: от станции «Севастопольский проспект» до «Улицы Новаторов» и от «Улицы Новаторов» до «Столбово». «Работы планируется завершить ориентировочно в 2023 году», — уточнил Александр Бочкарев.

На первом отрезке новой ветки метро появятся три станции: «Севастопольский проспект», «Академическая», «Улица Строителей». На втором — семь: «Улица Новаторов», «Университет Дружбы народов», «Улица Генерала Тюленева», «Славянский мир», «Мамыри», «Коммунарка», «Столбово». Затем радиус планируется продлить до Троицка.

## НА СТОЛИЧНОМ ГОРИЗОНТЕ — 35 СТАНЦИЙ

Мэр Москвы Сергей Собянин на днях конкретизировал планы метростроения до конца 2022 года. Намечено открыть 35 новых станций. В частности, предстоит построить все участки Большой кольцевой линии, продлить Калининско-Солнцевскую линию до Внуково, а Люблинско-Дмитровскую — до поселка Северный.

«К 2023 году Московский метрополитен

пройдет большую эволюцию», — резюмировал градоначальник.

Напомним, 2018 год стал для столицы рекордным по вводу метро: открылись два электродепо и 15 станций на Большой кольцевой, Люблинско-Дмитровской и Калининско-Солнцевской линиях. Причем пять станций появились за пределами МКАД, на участке от «Говорово» до «Рассказовки» в Новой Москве.

## О ЗАПУСКЕ ЮГО-ЗАПАДНОГО УЧАСТКА БКЛ

Запуск юго-западного участка Большой кольцевой линии (БКЛ) метро планируется в конце 2020 года, сообщил заместитель мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства Марат Хуснуллин. Строительство ведет китайский подрядчик CRCC (China Railway Construction Corporation). В настоящее время на проходке тоннелей юго-западного участка задействованы четыре тоннелепроходческих комплекса. В ближайшее время стартует пятый щит.

Протяженность участка составит 4,5 км. На нем расположатся три станции: «Аминьевское шоссе», «Мичуринский проспект» и «Проспект Вернадского». Две из них будут пересадочными с Калининско-Солнцевской и Сокольнической линиями.

Ввод участка улучшит транспортное обслуживание районов с численностью населения около 200 тыс. человек. Он позволит сократить время на поездку пассажиров по городу на 10–15 мин в



обход перегруженных центральных станций и пересадочных узлов.

Напомним, проект «БКЛ» является ключевым в программе развития столичной подземки. Протяженность нового кольца составит почти 70 км, на нем расположится 31 станция. Первые пять открылись для пассажиров в феврале 2018 года. На сегодняшний день на всех участках Большого кольца ведутся работы по проектированию и строительству.

## МОНТИРУЕТСЯ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОХОДКИ К «РЖЕВСКОЙ»

В столице начали монтаж тоннелепроходческого комплекса для строительства правого перегонного тоннеля к станции «Ржевская» Большой кольцевой линии метрополитена, говорится в сообщении пресс-службы департамента строительства Москвы.

Впервые ТПКМ монтируется в круглом котловане диаметром 31,5 м и глубиной 45,9 м. Щитовой комплекс Herrenknecht S-771 должен преодолеть около 3,5 км на глубине от 30 до 70 м. Он проложит первый тоннель под пятью участками Московской и Октябрьской железной дорог, ТТК, пройдет через станции «Ржевская» и «Шереметьевская» и финиширует перед

«Савеловской». Для комплекса это шестая по счету проходка.

«Мэр Москвы Сергей Собянин отмечал, что Большая кольцевая линия позволит радикально увеличить скорость и комфорт поездок на метро, — комментирует руководитель строительного департамента Александр Бочкарев. — Это самый крупный проект в истории метростроения в России и мире. По Большой кольцевой будет перевозиться как минимум в два раза больше пассажиров, чем сегодня по Московскому центральному кольцу».

Строительство северо-восточного участка БКЛ от станции «Авиамоторная» до станции «Савеловская» ведет АО «Мосметрострой».

## В САМАРЕ ТОЖЕ ПРОДОЛЖАТ СТРОИТЬ

На осуществление строительно-монтажных работ в Самарском метрополитене Управление капитального строительства Самарской области выделит около миллиарда рублей. На станции «Алабинская» в нефункционирующем вестибюле №2 планируется обустроить инженерные коммуникации, системы радиационного и рентгеновского контроля, теленаблюдения и подъемной платформы. На перегоне «Российская» — «Алабинская» предстоит выполнить устройство верхнего строения пути, тоннельного водопровода, а также водопровода и канализации на вентиляционной установке. На перегоне «Алабинская» — «Самарская» необходимо достроить камеру съездов и перегонный тоннель, верхнее строение пути, а также подвести инженерные коммуникации, электроосвещение и силовые сети.

Самарский метрополитен состоит из одной линии и десяти станций. Последняя — «Алабинская» — открылась в 2015 году.

## КАЗАНСКАЯ ПЕРСПЕКТИВА: ЕЩЕ ЧЕТЫРЕ ЛИНИИ

На строительство метро в Казани власти Татарстана планируют направить в 2019–2021 гг. 3 млрд рублей (ежегодно в объеме 1 млрд). Бюджетная политика республики показывает эффективность. Так, 30 августа этого года открылась последняя станция первой ветки Казанского метрополитена, получившая название «Дубравная». Инвестиции в ее создание составили 5,2 млрд рублей.

Казанский метрополитен сейчас состоит из одной ветки протяженностью 8,4 км, на которой расположено 10 станций. В перспективе планируется построить четыре линии. Уже начались подготовительные работы для строительства станции «Улица Академика Сахарова». Это будет начало второй линии протяженностью 20 км, состоящей из 12 станций. В рамках первого пускового участка длиной 5,6 км планируется одновременно ввести четыре из них.



## ПЕТЕРБУРГСКИЕ СТАНЦИИ В ПЛАНЕ ДО 2025 ГОДА



Как сообщил на заседании петербургского правительства председатель Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Сергей Харлашкин, в густонаселенном Приморском районе участок Невско-Василеостровской линии метрополитена от станции «Беговая» до станции «Шуваловский проспект», включая станцию «Туристская», намечено ввести в эксплуатацию в 2023 году. Завершение строительства первого участка Красносельско-Калининской линии от «Обводного канала» до «Казакской» с электродепо и продолжение Лахтинско-Правобережной линии от «Театральной» до «Морского фасада» запланировано на 2025 год.

Напомним также, что в марте Смольный внес изменения в схему развития Петербургского метрополитена, расширив горизонт планирования до 2030 года. В частности, по данным КРТИ, за этот срок предполагается открыть 20 станций.

Следует также отметить, что в ходе встречи, которая состоялась в Москве, временно исполняющий обязанности губернатора Санкт-Петербурга Александр Беглов и министр транспорта России Евгений Дитрих обсудили вопросы развития транспортной инфраструктуры Северной столицы. Теперь Смольный готовит обращение к Правительству РФ о выделении 300 млрд рублей на объекты метро до 2031 года.

## «ОПЕРНЫЙ ТЕАТР» И «СЕННАЯ» В НИЖНЕМ

Стали известны подробности о перспективе строительства двух новых станций метро в Нижнем Новгороде. По информации городской администрации, рассматривается участок протяженностью более 3 км, на котором расположатся две станции — «Оперный театр» и «Сенная», а также тупики для оборота подвижного состава.

По словам представителей городского департамента строительства и капитального ремонта, пуск второго участка даст мощный

толчок развитию метро в сторону микрорайонов Верхние Печеры и Кузнечиха. Также в дальнейшем планируется построить второй метромост через Оку и создать с его помощью большое кольцо метрополитена, которое будет обеспечивать связь всех районов города.

Строительство двух новых станций займет предположительно 42 месяца, а вместе с подготовкой территории потребуется пять лет. Но точной информации, когда начнутся работы, пока нет.

## НА СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТРО В КРАСНОЯРСКЕ ВЫДЕЛЕН МИЛЛИАРД

Бюджет Красноярского края на 2019–2021 гг. внесена поправка, согласно которой на строительство метрополитена в Красноярске будет направлен 1 млрд рублей. Дополнительная статья расходов обусловлена тем, что Правительство РФ выделило на развитие региона 7,7 млрд. Впрочем, как пояснили в пресс-службе краевого прави-

тельства, это не значит, что метро появится в Красноярске уже в ближайшие годы. Миллиард планируют потратить на изыскания и проектирование. При этом часть земли на первой ветке метрополитена уже зарезервирована администрацией Красноярска под строительство. Также красноярское правительство заказало обследование ранее вырытых тоннелей.

ства мегаполисов (ACUUS) от Европы Сергей Алпатов.

Он подчеркнул, что на основе долгосрочного планирования в области подземного строительства могут быть реализованы крупные национальные проекты, призванные обеспечить дальнейшее развитие российских городов и повышение уровня жизни российских граждан.

Одной из ключевых составляющих, необходимых для эффективного развития транспортной инфраструктуры крупных городов, является метрополитен, так как именно рост объемов метростроения обеспечивает взрывное развитие городских территорий. В этом смысле метрополитен является основой комплексного освоения городского подземного пространства, включающего в себя помимо современной транспортной



инфраструктуры, объекты коммерческого назначения и общественные пространства.

Участники заседания Совета единодушно подчеркнули необходимость совершенствования подходов к вопросам территориального планирования и включения разделов «Подземное строительство» в Генеральные планы городов. Кроме того, учитывая низкие темпы развития метростроения в нашей стране, необходимо инициировать разработку Федеральной государственной программы развития метрополитенов России и интегрированных в них многофункциональных транспортных систем и объектов гражданского назначения.

По итогам заседания будут сформированы решения Совета по междисциплинарным проблемам транспортных систем Санкт-Петербургского научного центра РАН, которые будут направлены в администрацию и.о. губернатора Санкт-Петербурга Александра Беглова, Координационный совет по развитию транспортной системы Санкт-Петербурга и Ленинградской области, а также в Минтранс и Правительство РФ. ■

# РОССИЙСКИЕ УЧЕНЫЕ ПОДКЛЮЧИЛИСЬ К РЕШЕНИЮ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ

*За необходимость комплексного освоения подземного пространства как инструмента решения актуальных проблем урбанизированных территорий высказались члены Объединенного научного Совета по междисциплинарным проблемам транспортных систем Санкт-Петербургского научного центра Российской академии наук.*

Заседание Совета состоялось в историческом здании на Университетской набережной. В обсуждении проблем создания дружественного человеку городского пространства приняли крупнейшие российские ученые Северной столицы, среди которых: заместитель председателя СПбНЦ РАН Олег Белый, заведующий кафедрой «Тоннели и метрополитены» ПГУПС Императора Александра I Александр Ледяев, начальник центра пространственного и регионального развития ФГБНИУ «Совет по изучению производительных сил» Владимир Коротаев, член правления Союза архитекторов Санкт-Петербурга Валерий Ким, генеральный директор ОАО «РосНИПИУрбанистики» Владимир Щитинский, физиолог, академик РАН Юрий Наточин.

Проблематику комплексного освоения подземного пространства как основы формирования комфортной городской среды в своем докладе представил генеральный директор СРО А «Подземдорстрой», член совета директоров Объединения исследовательских центров подземного простран-



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



# МАРАТ ХУСНУЛЛИН О ТРАНСПОРТНОМ ПРОРЫВЕ СТОЛИЦЫ

**Как известно, в 2011 году была принята программа развития Московского метрополитена, в соответствии с которой к 2020 году предполагалось построить 150 км новых линий и 75 станций. В 2018 году в столичной подземке развернуты беспрецедентные по масштабам и скорости выполнения работы. В частности, к концу года планируется ввести в эксплуатацию 24 станции. О ходе этих работ рассказывает заместитель мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства Марат Хуснуллин.**

Беседовала  
Наталья АЛХИМОВА

**— Марат Шакирзянович, последние годы метро в Москве строят много и быстро. Таких масштабов метростроения в России не было никогда. А какие у вас приоритеты на сегодняшний день и на ближайшую перспективу?**

— Программа развития столичной подземки действительно беспрецедентна, подобного сейчас нет ни в одном мегаполисе мира. Причем необходимость качественного прорыва у нас назрела давно. Да и как иначе, ведь город продолжает активно расти и расширяться, а метро — главный общественный транспорт Москвы, которым пользуется почти 70% населения.

С 2011 года и с учетом ввода в 2018-м будет построено 157 км линий, 81 станция метро и МЦК, 9 электродепо. Шаговый доступ к внеуличному рельсовому транспорту уже на сегодняшний день получили жители порядка 40 районов Москвы.

В течение ближайших пяти лет метрополитен прирастет еще 99 км линий, 41 станцией и 4 электродепо. Мы завершим строительство Большой кольцевой линии (БКЛ) протяженностью почти 70 км — это наш ключевой проект метростроения на ближайшие годы. По расстоянию это все равно, что построить высокоскоростную железнодорожную трассу от Москвы до Наро-Фоминска или, скажем, от Амстердама до Роттердама. В составе второго кольца будет 31 станция и электродепо. Первый участок с пятью станциями мы уже открыли весной этого года, очередной — от «Петровского парка» до «Нижней Масловки» — откроем до конца текущего года. Работы развернуты на всех участках кольца.

Важность данного проекта еще и в том, что он предусматривает техническую возможность тянуть радиальные ветки в любые точки города. Так, помимо Кожуховской линии, первый участок которой для пассажиров откроется до конца этого года, такие линии от БКЛ придут в Новую Москву — в пос. Коммунарка, а далее и в Троицк, и в Рублево-Архангельское. Еще одна ветка протянется в столичный район Бирюлево. Кроме того, вглубь Новой Москвы продлеваем и существующую радиальную линию — Сокольническую. Придет метро и в аэропорт Внуково, куда продлеваем Калининско-Солнцевскую ветку.

**— Внедряются ли новые технологии в процессы строительства метро в Москве?**

— Да, конечно. Без развития и внедрения новых технологий ни экономика в целом, ни строительная отрасль, в частности, не могут оставаться конкурентоспособными. И мы активно применяем инновационные технологии и различные новаторские решения, которые делают строительство более качественным и надежным, облегчают сам процесс и требуют меньших затрат. Назову лишь некоторые из них. Шахтные стволы при строительстве метро сооружаются стволопроходческими комплексами, что удешевляет работу по сооружению вертикальных выработок и увеличивает скорость проходки в 3–4 раза. Применяем мы и адаптируемый под отечественные нормативы так называемый мадридский метод строительства станций «сверху вниз»

(up-down) с сооружением двухпутных тоннелей — на отдельных участках БКЛ и участке Кожуховской линии.

Еще одна инновация — алюминотермитная сварка рельсов. Достоинств у такой технологии много. Она дает возможность сваривать рельсы любого профиля и качества, включая старогодные, и делать это в труднодоступных местах стрелочных переводов и в тоннелях. Метод позволяет одновременно производить сварку несколько стыков, расположенных рядом, что сокращает общее время выполнения работ. Кроме того, используется специальный комплект малогабаритного переносного оборудования, способный работать автономно. Это в целом быстрый, экономичный процесс, занимающий вместе с подготовкой, непосредственно сваркой и этапом окончательной обработки сварного шва не более 45–50 минут.

Применяются и такие инновации, как использование железобетонных полушпал LVT-M. Полушпалы, одетые в чехлы с амортизирующими прокладками, погружают в путевой бетон марки В25, который укладывается поверх бетонного основания тоннеля. Ширина бетонного слоя от внешнего торца полушпалы до борта основания должна составлять не менее 20 см. Основные преимущества применения технологии LVT — высокая мобильность изготовления полушпал, обеспечение максимальной точности укладки ВСП, высокий уровень механизации, а также скорость монтажа системы. При этом используется путевой бетон В25 — более высокой марки, чем традиционный, а крепление кронштейнов контактного рельса происходит непосредственно к нему с помощью заранее забетонированных упоров.

В ходе сооружения московского метро применяется и композитная арматура — для строительства ограждающих конструкций, и стеклополимерная арматура — в железобетонных конструкциях.

**— Московские грунты в основном позволяют сооружать метро мелкого заложения. С чем связано строительство ряда «глубоких» станций?**

— Изначально мы планировали, что последней станцией глубокого заложения, построенной в Москве, будет «Нижняя Масловка» Большой кольцевой линии, но жизнь вносит свои коррективы. Нам пришлось принять решение о строительстве еще ряда таких станций. На сегодняшний день могу сказать, что глубокими будут «Шереметьевская» и «Ржевская». В первую очередь, перепроектирование связано с гидрогеологическими особенностями этого участка. Станции



будут строиться закрытым способом. Сейчас на месте «Шереметьевской» работы идут полным ходом. В районе станции «Ржевская» мы приступили к сооружению котлована для монтажа тоннелепроходческого комплекса.

**— По какому принципу определяется территориальное планирование транспортно-пересадочных узлов?**

— Мы стремимся сделать транспортную инфраструктуру Москвы удобнее для пассажиров, создать комфортные условия пересадки между различными видами транспорта и оптимизировать среднее время поездки по городу. По каждому конкретному ТПУ собираем огромный объем информации о транспортных потоках и проблемных участках. Каждый транспортно-пересадочный узел уникален и разрабатывается нами, в первую очередь, исходя из потребностей того или иного городского района.

**— Для разгрузки улично-дорожной сети и улучшения экологической обстановки в некоторых крупных городах мира для движения автомобильного транспорта используется подземное пространство. Мировой опыт показывает, что подобные проекты экономически эффективны и могут быть интересны для инвесторов. Насколько такая модель организации дорожного движения приемлема для Москвы?**

— Наша задача — максимально снизить нагрузку на уже существующую улично-дорожную сеть. И использование подземного пространства, без сомнения, является одним из ключевых инструментов нашей работы. Тоннели позволяют создавать на новых магистралях бессветофорное движение, что значительно сокращает время, затрачиваемое водителями на дорогу. У нас уже есть опыт реализации масштабных проектов в области освоения





подземного пространства. В частности, могут выделить сложнейшие инженерные сооружения: Алабяно-Балтийский тоннель и уникальный винчестерный тоннель на улице Народного Ополчения, имеющий два яруса. Но глобальных проектов использования подземного пространства для организации дорожного движения у нас в конкретных планах пока нет.

**— Каковы основные направления развития транспортной инфраструктуры в столице?**

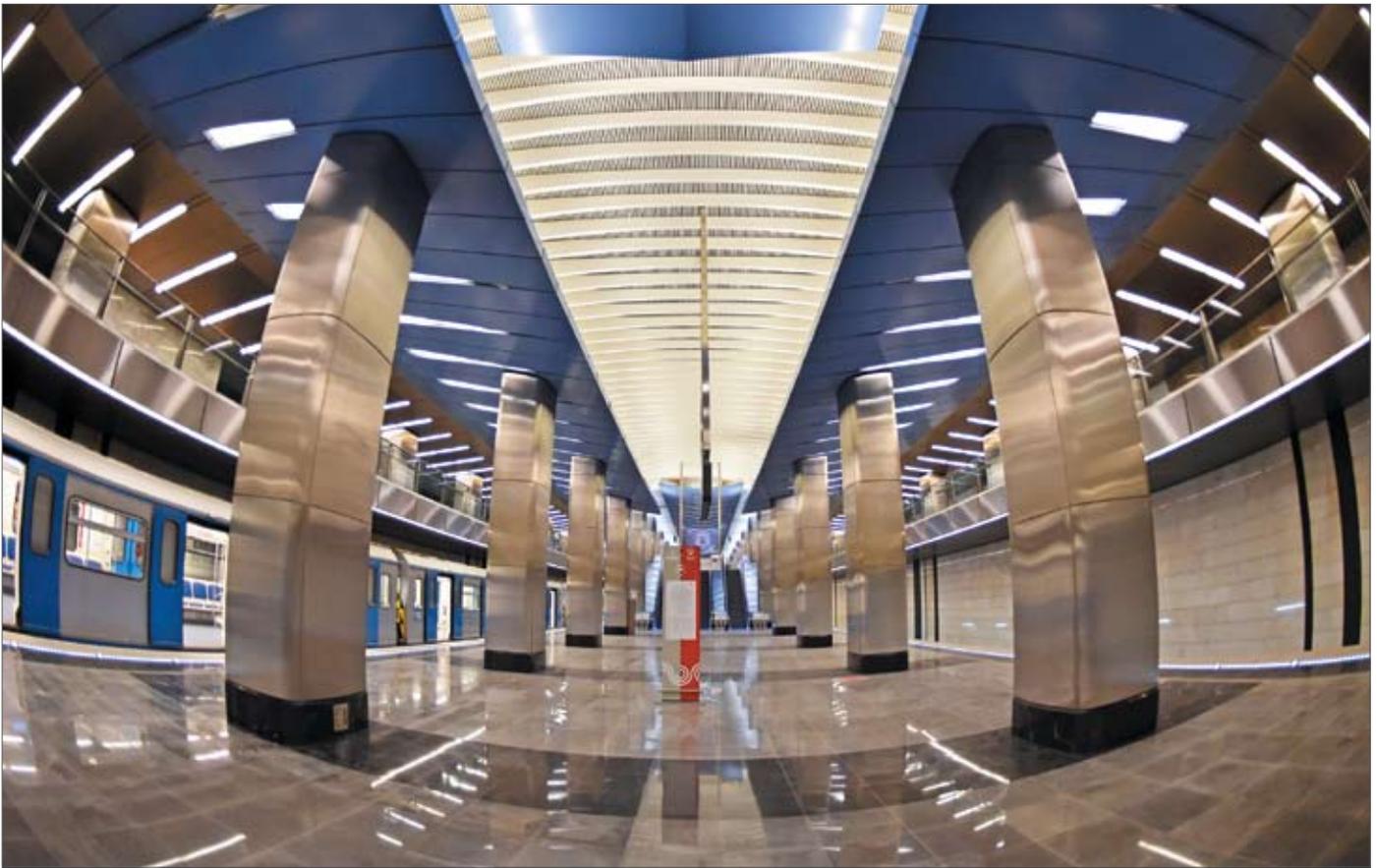
— Любой мегаполис считает важнейшей градостроительной задачей обеспечить максимальному числу жителей пешую доступность к транспортным узлам. Поэтому развитие транспортной инфраструктуры — это вообще главный драйвер развития любого мегаполиса мира, и Москва не исключение. Расходы на транспортное строительство составляют порядка 70% всех средств, предусмотренных адресной инвестиционной программой столицы, куда включается возведение объектов, самых необходимых для города и горожан. Причем приоритет отдаем сфере общественного транспорта и, в первую очередь, метро. В этом плане, начиная с 2011 года, мы совершили мощный рывок: начали формировать транспортную систему, объединяющую в единую сеть метрополитен, железнодорожные линии и дороги, транспортно-пересадочные узлы.

Учитывая то, что уже построено за восемь лет, и то, что будет построено в течение ближайшей пятилетки, 2011–2023 гг. смело можно считать периодом настоящего прорыва в развитии транспортной системы Москвы. В частности, столичный метрополитен прирастет 256 км новых линий, 122 станциями и 13 электродепо. В рамках реализации мегапроекта по строительству Московских центральных диаметров будет обустроено 428 км железных дорог с 211 станциями и 110 пересадками на МЦД и метро. Плюс идет активное развитие автодорожной инфраструктуры.

У нас в городе уже сегодня общая загрузка станций метрополитена за счет построенных новых снизилась на 7,2% в год, а среднее время поездки на личном транспорте в утренние часы пик — на 2,8%. Для такого огромного мегаполиса, как наш, это большое достижение.

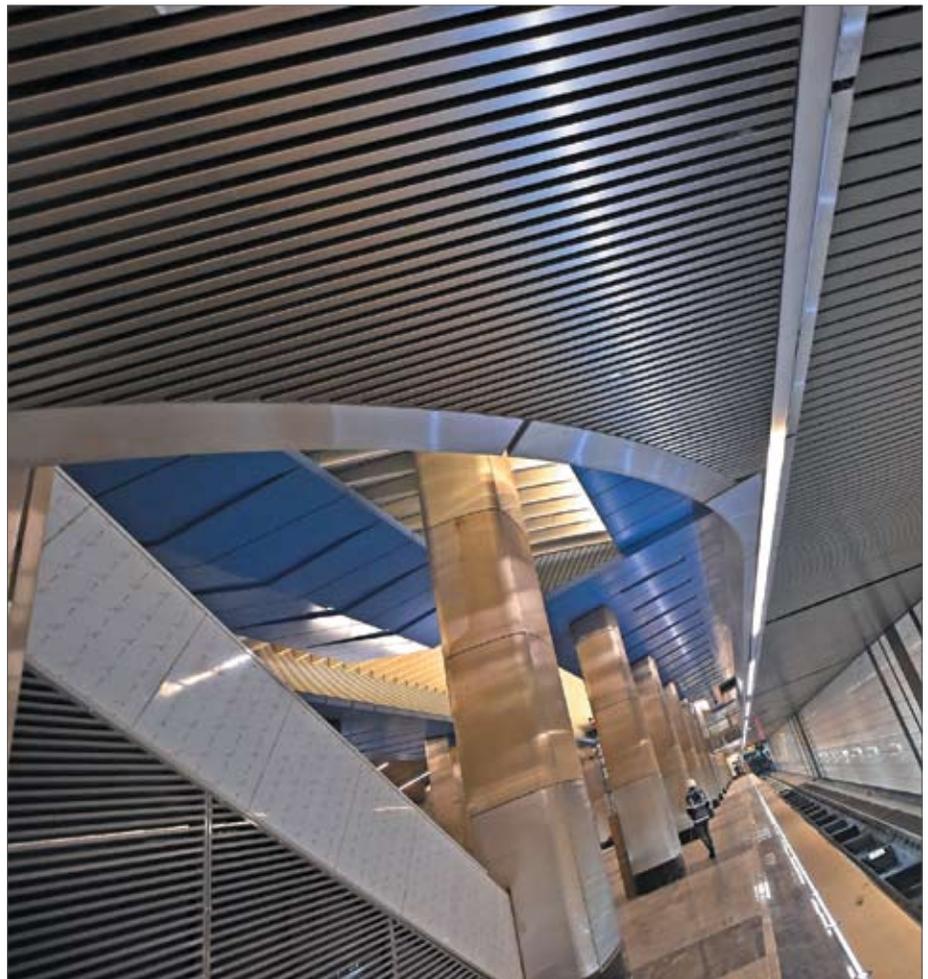
**— Вы говорите о том, что к 2023 году Москва должна совершить транспортный прорыв. Можно подробнее о его итоговых показателях?**

— Мы действительно его совершим, никаких сомнений в этом нет. К этому времени



завершим стартовавшую в 2011 году программу формирования современной транспортной системы, которая объединяет посредством ТПУ в единую сеть метрополитен, железнодорожные линии и автомобильные дороги. Общая протяженность подземного и наземного метро, с учетом реализации проектов БКЛ, новых радиальных веток и Московских центральных диаметров, превысит тысячу километров. Программа развития автомобильных дорог, включая строительство вылетных магистралей, хорд и рокад, реконструкцию участков МКАД, реализацию проекта ЦКАД (участка, проходящего по территории Новой Москвы), позволит за 2011-2023 гг. ввести в эксплуатацию более 1,3 тыс. км улично-дорожной сети, 327 мостов, эстакад и тоннелей. Важнейшим связующим звеном между разными видами транспорта станут ТПУ. Запланировано строительство 251 узлов, из которых 154 — в капитальном исполнении. Создание системы таких хабов с удобными пересадками с одного вида транспорта на другой, с сопутствующей инфраструктурой и перехватывающими парковками, позволит снизить загруженность дорожной сети в среднем на 7%.

Никогда в своей истории за столь ограниченный промежуток времени Москва не вводила такого количества объектов транспортной инфраструктуры! ■



*Действующая градостроительная политика Москвы направлена на формирование и развитие полицентричной структуры мегаполиса — создание новых точек деловой и общественной активности за пределами исторического центра. В этом контексте строительство транспортно-пересадочных узлов обеспечит горожанам не только удобную пересадку на разные виды транспорта, но и комфортную среду на прилегающих территориях. На вопросы о том, как в столице реализуется программа по созданию ТПУ, отвечает первый заместитель генерального директора по развитию компании «Мосинжпроект» Альберт Суниев.*



## МОСКОВСКИЕ ТПУ: В ОБЩЕМИРОВОМ ТРЕНДЕ



**— Альберт Альфатович, какое значение транспортно-пересадочным узлам градостроители отводят в транспортной системе Москвы?**

— В Москве действует сложнейшая система городского общественного транспорта. Транспортно-пересадочные узлы призваны связать в единую сеть метрополитен, наземный уличный пассажирский транспорт, Московское центральное кольцо и радиальные направления Московской железной дороги, чтобы пассажир смог комфортно, безопасно и быстро перейти с одного вида транспорта на другой.

Всего в Москве планируется реализовать более 100 плоскостных (в виде перехва-

тывающих парковок, на которых можно оставить автомобиль и пересесть на метро) и 169 капитальных ТПУ. Последние предполагают возведение многофункциональных комплексов по принципу «сухие ноги» — когда пассажир может осуществить пересадку, не выходя из помещения или под навесом. Они в большинстве своем появятся на базе строящихся станций метрополитена, так как метро — основной вид транспорта в Москве.

По своему масштабу ТПУ делятся на локальные, общегородского и даже агломерационного значения.

Пример районного уровня — транспортно-пересадочный узел «Лефор-

Интервью подготовлено при содействии пресс-службы Комплекса градостроительной политики и строительства г. Москвы

тово», создаваемый на базе одноименной станции строящегося Третьего пересадочного контура. Этот ТПУ объединит в себе автобусные остановки, а также остановочные павильоны трамвая, соединенные с вестибюлем метро подземным пешеходным переходом. Проектом также предусмотрено благоустройство сквера у кинотеатра «Спутник».

Другое дело — транспортный хаб «Косино» на базе одноименной станции строящейся Кожуховской линии. Он будет принимать сотни тысяч пассажиров в сутки. ТПУ объединит пассажиропотоки станций метро «Косино» и «Лермонтовский проспект», платформы «Косино» Рязанского направления Московской железной дороги, наземного городского транспорта. Пересадка будет осуществляться в подземном распределительном уровне по принципу «сухие ноги». Сверху построят также сразу несколько многофункциональных комплексов с торговыми помещениями и даже физкультурно-оздоровительный комплекс. ТПУ «Косино» носит агломерационное значение.

Хотел бы подчеркнуть: основная задача транспортно-пересадочных узлов — обеспечить беспрепятственную и комфортную пересадку. Сверхзадача — создать новые центры деловой и общественной активности за пределами центра Москвы, чтобы можно было жить и работать в пешей доступности от основной транспортной инфраструктуры мегаполиса.

#### — Какие исследования проводятся перед разработкой проекта ТПУ?

— ТПУ возникают там, где есть острая необходимость в решениях, направленных на улучшение транспортной инфраструктуры. На каждом из участков мы занимаемся соответствующим мониторингом, анализируем проблемные зоны. Наиболее крупные ТПУ запланированы там, где пересекаются основные транспортные артерии мегаполиса. Эти узлы обеспечат не только свободу и комфорт движения пассажиров, но и дадут дополнительный импульс развития прилегающим территориям.

Например, одним из самых крупных транспортных хабов станет ТПУ «Рязанская», который объединит остановочный пункт «Нижегородская» МЦК, одноименные станции ТПК и Кожуховской линии, платформу Карачаров Московской железной дороги. Этот транспортно-пересадочный узел по своему пассажиропотоку будет сопоставим с Площадью трех вокзалов, сейчас даже рассматривается возможность сделать его стартовым для высокоскоростной магистрали Москва — Пекин.

#### — Как учитывается мнение местных жителей при определении местоположения ТПУ?

— На старте любого проекта мы проводим большую аналитическую работу, в том числе заказываем социологические и маркетинговые исследования. Исходя из полученных данных, формируется проект, который затем представляется на публичных слушаниях. Местные жители на этих мероприятиях активно высказывают свои пожелания, проектировщики обязательно учитывают их мнение и корректируют проекты.

Например, для строительства станции «Авиамоторная» Третьего пересадочного контура пришлось снести старый и неприглядный рынок. По просьбам местных жителей, его функционал, помимо всего прочего, примет транспортно-пересадочный узел, но это уже будет современное и удобное здание, обеспеченное качественной транспортной инфраструктурой.

Другой пример: в составе ТПУ «Кленовый бульвар», который построят на базе одноименной станции ТПК, появится гостиничный комплекс. Рядом находится музей-заповедник «Коломенское», а гостиниц в этом районе не хватает.

Таким образом, каждый проект индивидуален: функциональное назначение строений и помещений прорабатывается для каждого объекта, создать идеальную для всех ТПУ формулу невозможно.

#### — Каковы механизмы привлечения инвесторов для строительства ТПУ и каким образом соблюдается баланс между технологическими и коммерческими функциями в объекте?

— Девелоперский дивизион в Мосинж-проекте как раз был создан для реализации

социально значимых проектов с привлечением частных инвестиций. Есть ряд объектов, которые имеют важное градостроительное значение и, соответственно, строятся за счет городского бюджета. Это метро, дороги и многое другое. А на примере ТПУ, которые мы проектируем, можно проследить, как важнейший городской проект можно реализовать, в том числе за частные деньги. Как правило, технологическую часть, то есть подготовку территории, вынос инженерных сетей из зоны застройки и организацию пересадок, берут на себя городские структуры. А уже для реализации программы в коммерческой части привлекаются инвесторы. Это помогает максимально сократить расходы или вовсе компенсировать затраты городского бюджета на строительство.

#### — Какое назначение строений и помещений в коммерческой части проектов ТПУ предпочтительнее для инвесторов?

— Инвесторы в сегодняшней экономической ситуации чаще выбирают жилье, как наиболее надежное вложение. Девелоперы меньше готовы инвестировать в строительство торговых и особенно офисных помещений, опасаясь, что могут столкнуться с их слабой заполняемостью. В то же время на рынке недвижимости продолжает пользоваться спросом жилье. Оно получает дополнительную привлекательность, если располагается в комплексе ТПУ. Важно подчеркнуть, что это общемировая практика — жить и работать в пешей доступности от транспортной инфраструктуры. По такому принципу застраиваются многие мегаполисы планеты. Этим же правилам следует и градостроительная политика Москвы. ■



# СЕРГЕЙ АЛПАТОВ О КРИЗИСЕ В ПЕТЕРБУРГЕ И ПЕРСПЕКТИВАХ В РОССИИ

*Еще недавно петербургских метростроителей чувствовали за то, что им удалось спасти имидж Северной столицы к проведению Чемпионата мира по футболу. В крайне сжатые сроки, которые многим казались нереальными, удалось построить новый участок Невско-Василеостровской линии, входивший в федеральную программу подготовки транспортной инфраструктуры к ЧМ. ОАО «Метрострой» спасло ситуацию и с главным городским стадионам. Однако вскоре ряд подразделений компании оказались на грани банкротства. Вместе с тем задерживается сдача в эксплуатацию последних станций Фрунзенского радиуса. А в целом получается, что снова пробуксовывают планы качественного прорыва в развитии петербургской подземки. За экспертной оценкой процессов, происходящих как в городе на Неве, так и вообще в подземном строительстве страны, мы обратились к Сергею Алпатову, генеральному директору Ассоциации «Объединение строителей подземной, инженерной и транспортной инфраструктуры» — общероссийской саморегулируемой организации со штаб-квартирой в Санкт-Петербурге.*

Беседовала  
Регина ФОМИНА

— Сергей Николаевич, для начала хотелось бы узнать ваше мнение в целом о ситуации с транспортной инфраструктурой Санкт-Петербурга. Как она видится вам на фоне общего состояния строительной отрасли?

— К сожалению, городская политика в области транспорта оптимизма не вызывает. Сейчас фактически в городе масштабно строится только жилье. При этом вокруг не создается необходимая инфраструктура, в том числе и транспортная. Так, на окраинах в эксплуатацию вводятся огромные жилые кварталы, рассчитанные на сотни тысяч жителей: Девяткино, Шушары, Кудрово, Парнас, но нормальными транспортными связями с городом они не обеспечиваются. Да и неизбежный прирост городского населения за счет миграции только усугубляет дорожную ситуацию.

Надо понимать, что без системного развития инфраструктуры с учетом изменения транспортных потоков такое положение будет только ухудшаться. Конкретный пример — Западный скоростной диаметр, по которому уже нормально не проехать ни утром, ни вечером. Например, на преодоление 2 км пути на съезде с ЗСД на Богатырский проспект можно потратить целый час(!). А ведь это платная современная трасса, построенная всего пару лет назад!

Получается, что комплексным развитием транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга никто сегодня не занимается. Если же говорить конкретно о метростроении, то и здесь ситуация не лучше. Что сейчас проектируется в городе на перспективу? В общей сложности в работе находятся семь станций, из которых новых объектов — только два, по остальным же просто пересматривается устаревшая проектная документация.

Спикер Законодательного собрания Санкт-Петербурга Вячеслав Макаров недавно заявил, что для Северной столицы этого не просто недостаточно, а безумно мало! При многолетнем отставании метростроения от потребностей мегаполиса мы практически превращаемся в некий за-



штатный провинциальный город, который не развивается вообще.

— Некоторые представители исполнительной власти сейчас критикуют петербургский Метрострой, в частности, обвиняя его в срывах сроков сдачи станций метро в Купчино...

— Я считаю, что все разговоры о неэффективности ОАО «Метрострой» не соответствуют реальному положению вещей. И если сегодня возникли задержки по сдаче объектов Фрунзенского радиуса, то это не по его вине.

Заказчик в лице города не обеспечивает своевременную подготовку строительных площадок, не производит соответствующие согласования и т. д. При этом может, на мой взгляд, необоснованно занижаться стоимость работ.

Говоря о проблемах Метростроя, вспоминается замечательная поговорка «стрелочник виноват». Подрядчик, который фактически спас строительство стадиона к Чемпионату мира по футболу, достроил комплекс защитных сооружений от наводнений, построил один из блоков атомной электростанции — не говоря уже о всей петербургской подземке, — оказывается «крайним». Не могу утверждать, что у них не было никаких ошибок. Возможно, вообще не следовало соглашаться с той ценовой политикой, которую проводил город. Но, скорее всего, чтобы получить объем работ и сохранить коллектив, это был единственный выход.

В защиту Метростроя, прежде всего, надо сказать, что это одна из передовых компаний отрасли в области технологий, причем с точки зрения мировых стандартов. Например, для проходки наклонных ходов специально были закуплены у фирмы «Херенкнехт» инновационные щитовые комплексы, которые уже успешно применялись на станциях «Обводный канал» и «Адмиралтейская».

А с помощью нового 10-метрового щита строились двухпутные тоннели на Фрунзенском радиусе и Невско-Василеостровской линии. Можно привести и другие примеры... То есть предприятие вкладывает немалые средства в свое технологическое развитие, в приобретение современного оборудования, причем из собственной прибыли. Если в советские времена в смете на это предусматривались соответствующие отчисления, то сегодня мало кто думает о масштабном развитии компаний. А Метрострой думает об этом.

Сегодня, я считаю, город должен не «добивать» метростроевцев, а, наоборот, помочь им выйти из тяжелой финансовой ситуации. Вячеслав Макаров правильно сказал, что если мы потеряем темп, то потеряем и людей. Результатом банкротства того или иного подразделения Метростроя станет утрата профессионального коллектива. Восполнить это будет крайне сложно.

**— Получается, что основные проблемы Метростроя сегодня обусловлены отсутствием эффективного взаимодействия с заказчиком?**

— Дело в том, что в метростроении компетентность заказчика — один из главных факторов успешной работы. Сегодня национальные объединения и строителей, и проектировщиков с изыскателями обязаны формировать национальный реестр специалистов. В отношении предприятий и организаций отрасли установлены достаточно жесткие требования. Это касается образования, стажа, квалификации их работников.

А какие требования при этом предъявляются государством к заказчику? Никаких! Сегодня заказчиком фактически может быть кто угодно. В результате проекты, выполненные в соответствии с установками таких заказчиков, зачастую не отвечают современным реалиям и требованиям, предъявляемым к объектам метрополитена.

**— Метрострой в Петербурге выступает в роли своего рода естественной монополии, так сложилось исторически. Как вы считаете, заинтересован ли город в приходе на рынок других подрядных организаций?**



— Начнем с того, что такое монополия де-факто. Это когда на рынке имеется только одна организация-монополист, которая ставит свои условия. Метрострой же никаких условий не ставит. Он вынужден соглашаться с тем, что предлагает город. Нет конкуренции? Допустим. Но какая у нее конечная цель? Если добиться качества, то оно и так на очень высоком уровне. Понизить стоимость контракта? Но по цене и падать-то больше некуда! Если дальше понижать цену, то только за счет снижения качества. Других вариантов нет. При этом в строительной отрасли, к сожалению, очень много проходимцев, которые могут прийти и заявить: «А я построю в два раза дешевле». Однако не надо забывать, что метростроение — особо опасный вид работ, во многом уникальный, и стандартная процедура тендеров здесь не подходит абсолютно. Если придут люди, которые не имеют опыта работы в наших инженерно-геологических условиях, это может привести к опасным ситуациям, даже к катастрофам.

**— Какими должны быть шаги по исправлению ситуации со стороны региональной власти?**

— Безусловно, нужно пересмотреть саму систему управления, чтобы, прежде всего, появилась какая-то одна структура, которая занималась бы комплексным освоением подземного пространства. Сегодня к этому много кто причастен, а в целом не занимается никто. В мире, кстати, существует разная практика. Где-то такая структура, которая все берет на себя, создается для отдельных проектов, а где-то — на постоянной основе.

16 ноября в Санкт-Петербургском научном центре Российской академии наук (СПбНЦ РАН) прошло заседание совета по междисциплинарным проблемам транспортных систем. Обсуждали вопросы и долгосрочного планирования, и ценообразования, и комплексности подхода к развитию инфраструктуры. Сегодня передовой мировой опыт говорит о том, что подземное строительство должно быть комплексным. К метро следует привязывать и транспортно-пересадочные узлы, и социальные объекты, которые можно убрать под землю. Наблюдаем ли мы такой комплексный подход со стороны заказчика в Петербурге? Однозначно нет!

Еще одна актуальная для Петербурга тема — проблемы исторической части города, которая охраняется ЮНЕСКО. Она тоже должна жить и развиваться в современных реалиях. Для этого необходима новая инфраструктура, но наверху ее размещать негде. Варианты: или сносить те здания, которые не относятся к памятникам, или убирать под землю инженерные сооружения, а на их месте строить объекты социальной инфраструктуры, или сразу строить такие объекты под землей, как это делается во многих западных городах.

**— Но в основе такого подхода должна быть заложена идея развития метрополитена?**

— Да, и в этом процессе при сегодняшней ситуации необходима государственная поддержка. На уровне руководства страны, начиная с Президента, сегодня много говорится о том, что одна из главных задач государства в лице и федеральных, и ре-



Милана, петербургское метро должно иметь не 69 станций, как сегодня, а минимум 500, причем по некоторым показателям — почти 900.

В Монреале среднее расстояние между станциями метро — 750 м, у нас же, как правило, — не менее 1,5 км. Кто-то скажет, что раньше мы и не могли строить по-другому, потому что у петербургского метро большая глубина заложения. Согласен. Но сути это не меняет: наши условия жизни абсолютно не соответствуют элементарным современным стандартам комфортного проживания. Одна из главных его составляющих — шаговая доступность станций метрополитена. Судя по тому, как сейчас проектируется метро в Петербурге, нам такого показателя не достичь в ближайшие лет двести...

**— Есть традиции, кадры, современная техника, новые технологии. Почему же у нас отставание от развитых стран в области освоения подземного пространства не сокращается? Вопрос только ли в финансах? И если в области дорожно-транспортного строительства, где в стране действительно делается много, отставание оценивается лет в сорок, то какие цифры могут быть в подземном строительстве?**

— Когда-то говорили, что по электронике мы отстали навсегда. Сейчас, мне кажется, то же можно сказать об освоении подземного пространства. Потому что на общероссийском уровне мы его просто не осваиваем, за исключением Москвы. Да и в столице, как правило, это ограничивается в основном только станциями метро, хотя есть и программа создания транспортно-пересадочных узлов.

Что же наблюдается в Петербурге? На заседании Общественного совета КРТИ задаем вопрос: «А почему планируется только десять станций метро»? Получаем ответ: «На большее нет денег». Это принципиально неправильный подход. Планировать надо не столько станций, на сколько хватает денег построить, а столько, сколько вообще необходимо для города. При этом следует просчитывать транспортные потоки, учитывать перспективы развития. Строить можно потом, когда на это появляются деньги, но планировать на долгосрочную перспективу нужно заранее. Если вдруг завтра случится такая ситуация — найдутся деньги на масштабное развитие питерского метро, мы не сможем их освоить. Ведь на проведение изысканий, разработку проектной документации, прохождение экспертизы требуется время. В среднем — три года. А у нас, как всегда: пока гром не грянет, мужик не перекрестится...

гиональных органов власти — это создание комфортных условий проживания для наших граждан.

Что мы имеем на сегодняшний день в Санкт-Петербурге? Общественный транспорт некомфортен. Метро в час пик настолько перегружено, что иногда даже невозможно войти в вагон. Наземный пассажирский транспорт из-за пробок вообще стал сомнительным средством передвижения.

По развитию автотранспортной инфраструктуры и улично-дорожной сети государством сейчас начата большая работа. Принимаются соответствующие федеральные программы. Но в отношении мегаполисов необходимым видится принятие и федеральной программы по метростроению. Мы об этом давно говорим. В частности, два года назад проводили всероссийское совещание в Красноярске, подготовили резолюцию, отправили ее в правительство. И на заседании в СПбНЦ

РАН тоже подготовили резолюцию, ее рассылка будет проведена по профильным министерствам и ведомствам. Там выработаны очень реальные и конкретные предложения, красной нитью проведена мысль о том, что основой комплексного освоения подземного пространства мегаполисов является метрополитен. Научный мир нашу резолюцию одобрил и поддержал.

Но как мы можем планировать что-то масштабное, если на ближайшее десятилетие в городе намечено открыть максимум восемь новых станций?! В то время как Москва только в этом году сдаст 24(!).

Мы провели анализ данных о строительстве метро в разных городах. Конечно, сравнение получилось очень условное, но, тем не менее, оно дает общую картину. Мы сравнивали показатели по количеству жителей, по площади территории, по пассажиропотоку и т. д. Так вот, чтобы достичь уровня

— Почему государство находило деньги на строительство метро даже в тяжелое послевоенное время, а в наши, относительно благополучные дни, метростроение испытывает серьезные трудности?

— Здесь отмечу два принципиальных момента. Во-первых, деньги, как известно, выделялись именно из государственного бюджета, а не из бюджета отдельного города. Во-вторых, первоочередной тогда ставилась цель — обеспечить передвижение людей на большие расстояния. Сейчас появились другие задачи, касающиеся насыщенности перевозок, освоения подземного пространства, создания комфортных условий проживания горожан. Но этим у нас так никто и не занимается. Планируют по старинке.

Я уже говорил, что мы проводили сравнительный анализ, в том числе учитывая доходы разных европейских городов за последние годы. В частности, у Вены бюджет в полтора раза меньше, чем у Санкт-Петербурга. Там, однако, с 1977 года построили больше станций метро, чем у нас с 1955-го. И реальных, четко обозначенных перспектив у них сейчас намного больше.

Недавно наш Президент поставил задачу, чтобы мы стали пятой экономикой в мире. Но ведь и сегодня Россия входит в первую десятку. Значит, в целом у нас не такое уж бедное государство. Может быть, надо разумнее распорядиться бюджетом, правильнее составлять приоритеты? То, что надо развивать подземное строительство, представляется очевидным. И, как правило, речь здесь идет о крупных инфраструктурных проектах, которым необходима государственная поддержка, специальные федеральные программы.

Вспоминается Красноярск. Город этот, конечно, не такой большой, как Москва или Санкт-Петербург, однако пробок там не меньше. Метро в Красноярске начали строить почти четверть века назад, но открыть до сих пор не могут. И в ряде других городов-миллионников наблюдается похожая ситуация: где-то метро строится крайне медленно, а где-то проекты вообще заморожены. То есть фактически мы не решаем те задачи, которые поставил перед нами Президент.

— Какими вам видятся возможные пути решения сегодняшних транспортных проблем мегаполисов?

— Все основные проблемы четко прослеживаются на примере Петербурга. Начну с того, что если у нас не будет грамотного градостроительного планирования с учетом комплексного освоения подземного пространства, то еще немного — и нам негде будет строить метро. В связи с непродуманным строительством жилой и коммерческой недвижимости



возникают свайные поля и подземные парковки, которые потом не позволяют проложить тоннель в этой зоне. Ведь если наверху мы можем снести здание, то ликвидировать свайное поле, глубина которого может достигать до 70 м, практически нереально. В этой связи необходимо резервирование территорий, а также создание привлекательных условий для инвесторов.

Сегодня мы говорим, что без поддержки федерального центра крупные инфраструктурные проекты городу не потянуть, но, с другой стороны, надо так планировать развитие подземного пространства, чтобы заинтересовать частный бизнес. Для этого необходимо заниматься изменениями в законодательстве, совершенствованием нормативно-технической базы.

Непосредственно в строительство метрополитена инвестор не будет вкладывать деньги. Разве что за очень редким исключением, как в Москве. Там возникла необходимость обеспечить транспортную доступность выставочного центра «Крокус Экспо». Это огромный комплекс, который с открытием метро получил дополнительное развитие, и в итоге его хозяин, затративший свои средства, выиграл.

Но обычно инвестор вкладывается в то, что быстро окупается. Это, прежде всего, так называемые социальные объекты. Торговые, спортивные, развлекательные.

В этой связи приведу пример Канады. У нас есть достоверные цифры по сооружению подземного города в Монреале, предоставленные участниками этого проекта. Там было три источника финансирования: правительство Канады, правительство провинции Квебек и частный инвестор. Участники проекта, реализованного в начале века, уже на сегодняшний день получили прибыль вдвое больше, чем затраты. То есть вести разговоры о том, что освоение подземного пространства убыточно по определению, — это абсолютно непрофессионально.

Да, в каких-то случаях из-за плохих грунтов строительство может быть очень дорогим. Поэтому мы и говорим: давайте создавать геологические карты с физико-механическими свойствами грунтов. Это позволит на предпроектном этапе определять, что разумно строить в том или ином районе города. Современные технологии позволяют строить под землей практически все и везде, но, конечно, вопрос в том, сколько это будет стоить.

И еще раз о современных возможностях. Почему в Петербурге строили самое глубокое метро в мире? Потому что на глубине здесь благоприятные инженерно-геологические условия, устойчивые грунты. Сейчас технологии позволяют и у нас строить метро мелкого заложения, что, естественно, быстрее и дешевле.

В общероссийском же масштабе мы продолжаем говорить о том, что система ценообразования неэффективна, а закон о госзакупках абсолютно не годится для сферы строительных услуг. Все с этим вроде бы уже согласны даже на государственном уровне, но на деле пока все остается по-прежнему.

В целом же возможные пути решения основных задач мы очередной раз попытались сформулировать на недавнем заседании Объединенного научного совета по междисциплинарным проблемам транспортных систем СПбНЦ РАН, о котором я уже говорил. В числе ключевых пунктов резолюции можно отметить следующее: «Подготовить приоритетный проект развития подземного пространства в крупных российских городах и агломерациях путем прямого финансирования», «принять программу финансирования развития метрополитенов в российских городах на уровне Правительства РФ».

Важнейшей проблемой также является градостроительное планирование. В соответствующие стратегические документы необходимо включить раздел по комплексному развитию подземного пространства в увязке с комплексными программами развития городской инфраструктуры. ■

О. А. МАКОВЕЦКИЙ, к. т. н.;  
С. С. ЗУЕВ  
(ОАО «Нью Граунд»)

# О ВЛИЯНИИ ПОДТОПЛЕНИЯ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПОДЗЕМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

*Геотехническая среда в городах с развитой инфраструктурой подвергается интенсивному техногенному воздействию, что нередко приводит к развитию процессов и явлений, отрицательно влияющих на подземные части зданий и сооружений. Создание методики прогнозирования в данном случае представляет собой сложную задачу ввиду необходимости учета большого количества факторов. В связи с этим встает необходимость оценки изменения состояния геотехнической среды, разработки и обоснования мероприятий (с оценкой их эффективности) по предотвращению развития негативных процессов или защите от них. В статье приводятся данные натурных наблюдений за динамикой подъема уровня грунтовых вод и связанных с ним изменений физико-механических свойств характерных грунтов г. Перми. Выполнена количественная оценка снижения уровня надежности грунтового основания при уменьшении модуля общих деформаций.*



## Введение

Необходимость и важность оценки изменчивости свойств грунтов впервые была отмечена в 1937 году в работе Г. И. Покровского («Исследования по физике грунтов»).

В последующие годы это направление (теоретические основы и практические методы учета изменчивости свойств грунтов) получило развитие в трудах М.Н. Гольдштейна, Н.А. Ермолаева и В.В. Михеева, Н.Н. Маслова и др.

На изменчивость физико-механических характеристик существенно влияют природно-климатические факторы. Главным из них является воздействие воды (техногенной, грунтовой, поверхностной). Оно выражается (см.: Гольдштейн М. Н. «Механические свойства грунтов») в следующем:

- ухудшении физико-механических (прочностных и деформативных) свойств

грунтов под влиянием увеличения влажности;

- снижении объемного веса грунта, расположенного ниже уровня грунтовых вод;

- изменении влажности грунтов при изменении количества попадающей в грунт воды в течение года (режим увлажнения и влажность грунтов при этом будет зависеть от количества выпадающих осадков, уровня грунтовых вод, уровня воды в открытых водоемах, от фильтрационных свойств грунтов и т. п.);

- выносе из основания мелких частиц грунта при движении грунтовой воды или утечке воды из инженерных сетей;

- возникновении дополнительных сил обжатия грунтов под влиянием капиллярно-подвешенной воды при снижении уровня грунтовых вод;

- образовании деформаций набухания и просадки глинистых грунтов и т. д.



[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru)  
[info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)

Принято считать, что естественный режим грунтовых вод, как правило, носит устойчивый, долговременный характер и определяется космогенными, климатическими и эндогенными факторами, а распространение грунтовых вод в плане на территориях, соизмеримых с размерами техногенных сооружений, относительно равномерное.

Техногенное подтопление территорий, общий и локальный подъем уровня грунтовых вод является в настоящее время серьезной проблемой для большинства крупных городов, расположенных на надпойменных речных террасах.

В России в подтопленном состоянии находится около 800 тыс. га городских территорий. Из 1092 городов подтопление отмечается в 960 (88%), в том числе в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Омске, Ростове-на-Дону, Томске, Хабаровске, Новгороде, Ярославле, Казани. Ущерб от подтопления 1 га (в зависимости от степени застройки капитальными сооружениями, наличия исторических и архитектурных памятников, разветвленности подземной инфраструктуры) составляет от \$15 до 200 тыс.

Наиболее явно такая картина проявляется для городов, расположенных на надпойменных террасах крупных рек с характерными переслоениями аллювиально-делювиальных отложений. Морфологическое строение таких территорий осложнено широко развитой сетью мелких речных долин, логов и оврагов. Здесь присуще развитие не только природных экзогенных процессов, но и процессов активизированных антропогенными факторами.

К подобным городам в полной мере можно отнести Пермь. Так, исследования и натурные наблюдения авторов и анализ данных инженерно-геологических изысканий

для строительного проектирования по ряду застроенных территорий (микрорайоны Мотовилиха, Городские горки, Бахаревка, Балатово), выполненных ОАО «ВерхнекамТИЗИС» и другими организациями, показали, что с уплотнением застройки города гидрогеологические условия существенно изменились.

### Климатические и инженерно-гидрогеологические условия Перми

Климатические условия территории Перми характеризуются резкой континентальностью и большой изменчивостью погоды в многолетнем разрезе. Абсолютный минимум температуры составляет  $-40,7^{\circ}\text{C}$ , максимум —  $+41,70^{\circ}\text{C}$ ; амплитуда температур достигает 82,1. Среднегодовое количество осадков — 625 мм.

На формирование микроклимата Перми оказывает влияние рельеф, характер застройки, наличие зеленых зон и близость Камского водохранилища. Влияние последнего особенно хорошо прослеживается в части города, расположенной на первой надпойменной террасе. Среднегодовая величина испарения с поверхности суши составляет 450–500 мм. Величина испаряемости за теплый сезон (V–IX месяцы) — 330–420 мм. Наибольшая высота снежного покрова за зиму в среднем составляет 76 см, максимальная — 101 см, минимальная — 56 см.

Современный рельеф территории представляет собой слабо всхолмленную денудационную равнину, являющуюся частью Прикамской возвышенности.

Непосредственно на территории Перми выделяются две гидрогеологические

структуры III порядка — Прикамский и Предуральский артезианские бассейны. Для Прикамского характерно наличие в разрезе часто переслаивающихся песчано-глинистых с разной степенью водообильности пород и водоупорных слоев, подстилающихся региональным водоупором — пермскими глинами. Для Предуральского артезианского бассейна, приуроченного к северной части городской территории, свойственны преимущественно слабо-водобильные и водопроницаемые песчано-глинистые и глинистые породы.

Данные гидрогеологические условия представляются достаточно сложными и характеризуются наличием ряда водоносных горизонтов.

Первый из них — безнапорный и приурочен к водонепроницаемым торфам и суглинкам. Величина капиллярного поднятия по суглинкам текучепластичным составляет 80–100 см. Второй уровень напорный и приурочен к гравийно-галечным отложениям. Высота напора — 11,5 м. Существует гидравлическая связь между указанными горизонтами.

Первый верхний водоносный уровень, со свободной поверхностью подземных вод, по своему состоянию в настоящее время находится в динамике. К этому комплексу относятся водопроявления типа верховодки.

Динамика изменения уровня первого водоносного горизонта на примере площадки наблюдения в Мотовилихинском районе показана на рис. 1.

Верховодка широко распространена по всей территории города. Обусловлена она в основном различием фильтрационных свойств верхней части разреза и обильным в некоторые периоды (в том числе связанные с техническим воздействием) питанием подземных вод. «Пятна» верховодки имеют площадь от нескольких десятков метров до нескольких десятков гектаров. В районах городской и промышленной застройки образуется техногенная верховодка. Вначале формируются «купола», которые распространяются на соседние территории. Постепенно техногенная верховодка сливается с порово-грунтовыми водами, обводняя всю толщу четвертичных отложений.

Факторы подтопления территорий можно подразделить на природные (естественные) и техногенные (искусственные). Из природных факторов основными являются инфильтрация атмосферных осадков (дождевые и талые воды), рельеф и геологическое строение. Инфильтрации атмосферных осадков избежать невоз-

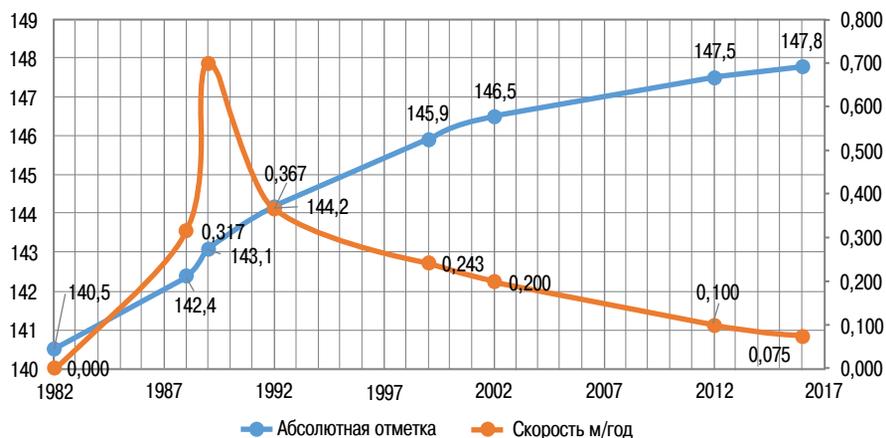


Рис. 1. Динамика изменения уровня грунтовых вод

можно, однако ее можно существенно уменьшить посредством организации поверхностного стока. Грунты, слагающие верхнюю часть разреза на территории города, — большей частью тяжелого минерального состава (глины, суглинки) с низкими фильтрационными свойствами, что вызывает подпор потока грунтовых вод с вышележащих участков и способствует развитию подтопления.

Существенную роль в изменении поверхностного стока атмосферных вод сыграло взятие в трубу рек Пермьки и Данилихи, протекавших в центре Перми. Их русла являлись естественными водосбором. Определенное влияние на подтопление оказывает также зарегулированность малых рек города. После строительства Камской ГЭС и заполнения Камского водохранилища уровень воды в реке Каме повысился и создал подпор потоку грунтовых вод. Это вызвало перераспределение их уровней на всей прибрежной территории водохранилища.

Одним из основных техногенных факторов являются утечки воды из водонесущих коммуникаций. Анализ данных по водопотреблению и водоотведению, режима формирования куполов грунтовых вод, динамики изменения химического состава подземных вод показывает, что утечки на отдельных участках территории достигают 40% от величины водопотребления.

### Процессы, влияющие на физико-механические свойства грунтов

Как отмечает З.Г. Тер-Мартirosян, геомеханические процессы, протекающие в массивах многофазных грунтов, являются наиболее распространенной и активной формой проявления общих экзогенных (поверхностных) процессов в верхних слоях земной коры. Это связано с наибольшей распространенностью осадочных пород и их непосредственным контактом с атмосферой и поверхностной гидросферой, а также с активной инженерной деятельностью человека в пределах распространения осадочных толщ.

При техногенном подтоплении происходит переформирование вещества в виде появления у грунтов новых признаков в составе и свойствах, изменений структуры, массы, плотности, прочности, проницаемости и т. п. Физико-химические слагаемые техногенной эволюции грунтов представлены, главным образом, следующими процессами: растворение твердофазовых

компонентов в растворах кислот и щелочей; гидратация и гидролиз природных и искусственных силикатов и алюмосиликатов и т. п. Интенсивность и последовательность протекающих процессов при воздействии сернокислых вод на глинистые грунты в значительной степени зависит от их состава. Уменьшается плотность и прочность грунтов, а скорость фильтрации повышается. Разрушению подвергаются глинистые минералы. Комплекс протекающих процессов способствует значительному ухудшению прочностных и деформационных свойств грунтов.

Подъем уровня подземных вод на значительных территориях Перми привел к негативным последствиям, основными из которых являются существенное ухудшение деформационных и прочностных характеристик водонасыщенных грунтов: увеличение коэффициента пористости, степени водонасыщенности, уменьшение удельного сцепления, угла внутреннего трения, модуля деформации.

Анализ изменения механических характеристик грунта показывает, что с увеличением степени водонасыщенности грунтов со значений 0,6–0,7 до 0,9–1,0 больше всего изменилась основная деформационная характеристика грунта — модуль деформации. Он снизился в 1,8–2 раза, и его средняя величина составила 5–6 МПа.

### Методика прогноза и оценка влияния фактора подтопления

Как уже отмечалось, разработка методики прогноза возникновения и развития негативных процессов в данном случае представляет собой сложную задачу ввиду необходимости учета большого количества факторов.

Уровень надежности геотехнической среды в значительной степени зависит от изменчивости деформационных характеристик. З. Сирожидинов («Расчет и проектирование свайных фундаментов на основе теории надежности») показал: когда речь идет о законе распределения вертикальных деформаций, не для конкретной площадки или конкретного вида и состояния грунта, а для всей совокупности влияющих на нее параметров — грунтовых условий с их видами и состояниями, напластованиями и т. п., то наиболее достоверным законом распределения параметров, составляющих  $R$  (внутренний фактор) и  $Q$  (внешний фактор), является нормальный закон. Разность этих двух факторов определяет резерв сопротивления:

$$S = R - Q \quad (1)$$

В этом случае расчетный уровень надежности основания можно вычислить по формуле:

$$H_p = \frac{1}{2} \left[ 1 + F_z \left( \frac{m_s}{\sigma_s} \right) \right] \quad (2)$$

где:  $F_z$  — функция Лапласа;  $m_s$ ,  $\sigma_s$  — математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение резерва сопротивления.

В качестве резерва сопротивления принимаем разность расчетной относительной осадки основания и ее предельного значения.

Результаты оценки уровня надежности грунтового основания по предлагаемому методу показаны на рис. 2 (изменение величины уровня надежности при снижении модуля деформации с 10 МПа до 6 МПа, при постоянном уровне уплотняющего давления 350 КПа).

Как видим, при назначении нормативного уровня надежности основания 0,950 он перестает быть обеспечен уже при снижении модуля деформации до значения 8 МПа. Для оценки эффективности геотехнических мероприятий при строительстве на сильно сжимаемых грунтовых основаниях, а именно при большой глубине залегания от поверхности слабых пылевато-глинистых водонасыщенных грунтов, для высотных зданий требуется совместный прогноз напряженно-деформируемого состояния системы «основание — фундамент — подземная-надземная части здания» с учетом возможного изменения деформационных характеристик грунтов во времени.

Строительство высотных зданий на такого рода грунтах связано с геотехническими мероприятиями по устройству искусственно улучшенного основания, с проектируемыми деформационными характеристиками.

### Геотехническая безопасность городских подземных коммуникаций

При строительстве возникают проблемы взаимного влияния зданий на подземные коммуникации и влияния подземных коммуникаций на здание. Главная причина — большая плотность городской застройки и наличие большого количества подземных коммуникаций. Требования по их защите регламентируются СП 18.13330.2011

«Генеральные планы промышленных предприятий» и СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских территорий», СТО 36554501-008-2007 «Обеспечение сохранности подземных водонесущих коммуникаций при строительстве (реконструкции) подземных и заглубленных объектов».

В идеальных условиях при строительстве предусматривается перенос коммуникаций на безопасное расстояние от фундамента проектируемого здания или сооружения. Но в случаях, когда это невозможно (экономически нецелесообразно или проблематично с технической точки зрения), необходимо оценить, какое влияние может оказать новое здание на трубопровод и как авария на трубопроводе может отразиться на безопасности здания. Для напорных трубопроводов это может быть насыщение грунта водой, что повлечет за собой изменение несущих свойств грунта. У безнапорных трубопроводов, вроде коллекторов хозяйственно-бытовой канализации, проблема может проявиться в виде их дефектов и повреждений. В водонасыщенных грунтах они будут работать подобно дренажу, что может негативно отразиться на общей геотехнической обстановке.

Рассмотрим эту проблему на примере строящегося жилого комплекса. Он представлен тремя 20-этажными зданиями с размером секции в плане  $27,4 \times 27,4$  м и монолитным железобетонным фундаментом толщиной 1200 мм, размером  $29,8 \times 29,8$  м, глубиной заложения — 4,4 м.

Сооружение комплекса осложнено наличием трассы главного разгрузочного коллектора (ГКР) на глубине 16,5 м от поверхности земли, который непосредственно проходит через участок строительства. Коллектор (самотечный с уклоном 0,0015) построен методом щитовой прокладки, диаметром 3200 мм и толщиной стенок 300 мм. Он призван разгружать существующую городскую канализационную сеть и предотвращать сброс неочищенных сточных вод в малые реки Перми. Сооружать коллектор начали еще в 1984 году и построили до 7-й шахты в районе перекрестка улиц Куйбышева и Революции. Потом из-за отсутствия финансирования строительство прекратили на 10 лет — до 2007 года. Первая очередь коллектора была сдана в эксплуатацию в июле 2009 года. Перед запуском для него решалась проблема с инфильтрацией грунтовых вод.

В данной геотехнической ситуации необходимо рассмотреть два варианта: обеспечение сохранности существующего

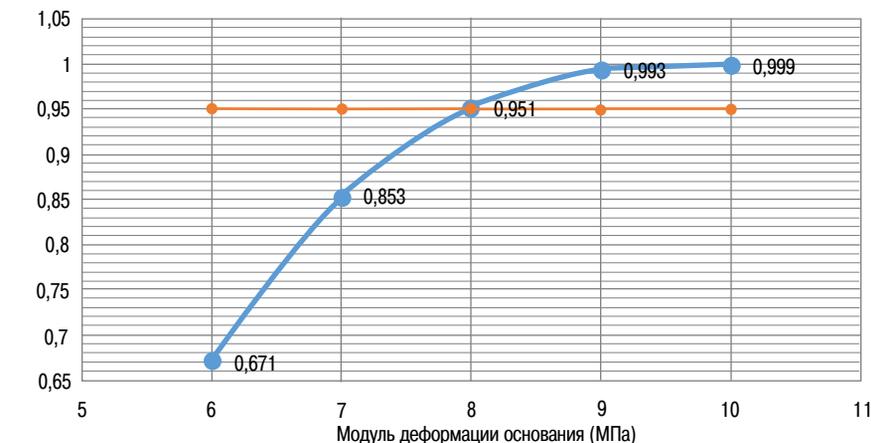


Рис. 2. Изменение уровня надежности грунтового основания при снижении модуля общих деформаций, при постоянном уровне давления

подземного коллектора, расположенного в зоне возможного влияния строящихся зданий жилого комплекса «Галактика»; защита возводимых зданий от негативного влияния коллектора, если таковое имеется.

Для анализа влияния зданий на коллектор (или наоборот) необходимо четко определить пространственное положение с помощью георадара. Расстояние от оси коллектора до края фундамента у всех зданий составляет 16 м. Требуется учесть все негативные факторы, которые могут возникнуть в данном случае.

Инженерно-геологические условия площадки: в геологическом строении участка участвуют отложения уфимского яруса нижней Перми (песчаники и аргиллиты), перекрытые четвертичными отложениями, представленными гравийными грунтами и незакономерным переслаиванием песков мелких, супесей, суглинков от твердых до полутвердых, неравномерно обогащенных с включением гравия и гальки (до 15–20%). При изысканиях, проведенных в мае 2012 года, встречены порово-грунтовые воды, приуроченные к гравийным грунтам, и трещинно-пластовые воды, приуроченные к песчаникам и аргиллитам. Воды четвертичных отложений не имеют водоупора и образуют единый водоносный горизонт. Установившийся уровень грунтовых вод в мае 2012 года зафиксирован на глубине 7,6–11,4 м.

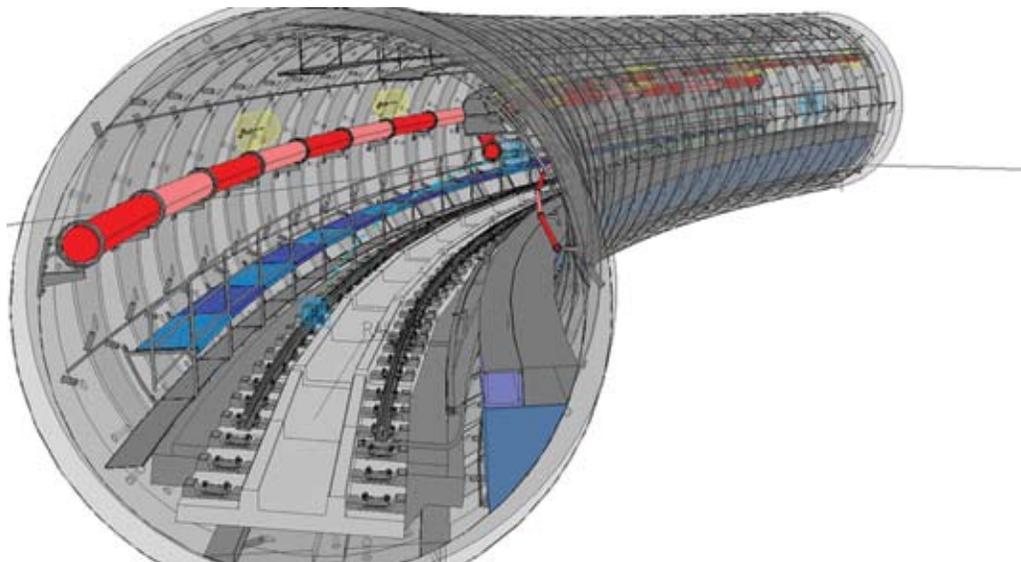
Специалистами компании «Нью Граунд» выполнено моделирование влияния нового строительства на коллектор. Спрогнозированы дополнительные деформации его основания, дальнейшее изменение его технического состояния и влияние на здания в случае аварии.

Первоначально необходимо было выяснить, окажет ли влияние строительство здания на коллектор. Для этого определя-

ется глубина сжимаемой толщи. В данном случае она составляет 26,42 м. Коллектор находится в пределах сжимаемой толщи. Необходимо произвести оценку неравномерности деформаций, дополнительных усилий, возникающих в конструкциях подземного сооружения.

Для выполнения расчета на перемещения и нагрузки использовалась универсальная программная система конечно-элементного анализа ANSYS. Была построена двумерная модель грунтового основания с фундаментами двух зданий, располагаемых параллельно коллектору, и с коллектором. Грунт моделировался с помощью элемента PLANE82. Фундаменты здания были смоделированы как бесконечно жесткие элементы с равномерной нагрузкой в 300 кПа. Коллектор моделировался с помощью элемента PLANE83 в виде кольца диаметром 3,2 м и толщиной стенки 0,3 м. Для моделирования грунта была выбрана область шириной 150 м и глубиной 40 м.

Исходя из полученных результатов, для защиты коллектора от перемещения необходимо предусмотреть следующие мероприятия: компенсирование напряженно-деформируемого состояние грунта за счет нагнетания цементного или бентонитового раствора в заобделочное пространство; выполнение геотехнического барьера в виде раздельного экрана из сплошного стального шпунта или секущих свай, вертикального или наклонного экрана из закрепленного грунта между подземными коммуникациями и строящимся зданием. Учитывая сложность поставленной задачи, обязательно следует предусмотреть геотехнический мониторинг зданий и коллектора. При этом надо отметить, что мониторинг стал бы необходим даже в том случае, если бы мероприятий по защите коллектора не потребовалось. ■



В. А. ГАРБЕР, д. т. н.;  
Н. Н. СИМОНОВ, к. т. н.;  
И. М. МАЛЫЙ,  
государственный эксперт  
(НИЦ «Тоннели и метрополитены»  
АО «ЦНИИС»)

*Говоря о сегодняшних беспрецедентных масштабах метростроения в российской столице, следует вспомнить и о том, что необходимость интенсивного развития городской инфраструктуры была осознана уже достаточно давно. Еще в 1995 году Правительство Москвы выступило с подобной инициативой. С тех пор появилось много важных для города инфраструктурных объектов (многофункциональных комплексов, транспортных сооружений, коммуникационных коллекторов и т. д.). Однако выявилась серьезная проблема обеспечения эксплуатационной безопасности действующих линий метро, в технических и охранных зонах которого проектируются строительство и реконструкция. В связи с этим актуальна разработка автоматизированной системы мониторинга сооружений метрополитена на основе BIM-технологии. Использование пространственной цифровой информационной модели позволит отслеживать состояние и регулировать параметры эксплуатируемых объектов.*

## РАЗРАБОТКА BIM-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

### Введение

Исходя из проблем, обусловленных интенсивным развитием инфраструктуры, по инициативе ГУП «Московский метрополитен» были разработаны и утверждены два документа: «Правила использования территорий технических и охранных зон метрополитена в городе Москве»; «Методика комплексного обследования состояния строительных конструкций сооружений метрополитена, попадающих в зону влияния строительства городских объектов».

Всего за период 1995–2017 гг. было построено и реконструировано 378 городских инфраструктурных объектов различного назначения. НИЦ «Тоннели и метрополитены» АО «ЦНИИС» активно участвовал в этом процессе, обеспечив его безаварийность.

В настоящее время назрела необходимость аналитического обобщения результатов строительства за прошедший 22-летний период с фиксацией основных проблем по обеспечению безопасности сооружений действующего метрополитена.

Практически вся территория столицы была охвачена инфраструктурным строительством, и все линии метрополитена подверглись его воздействию.

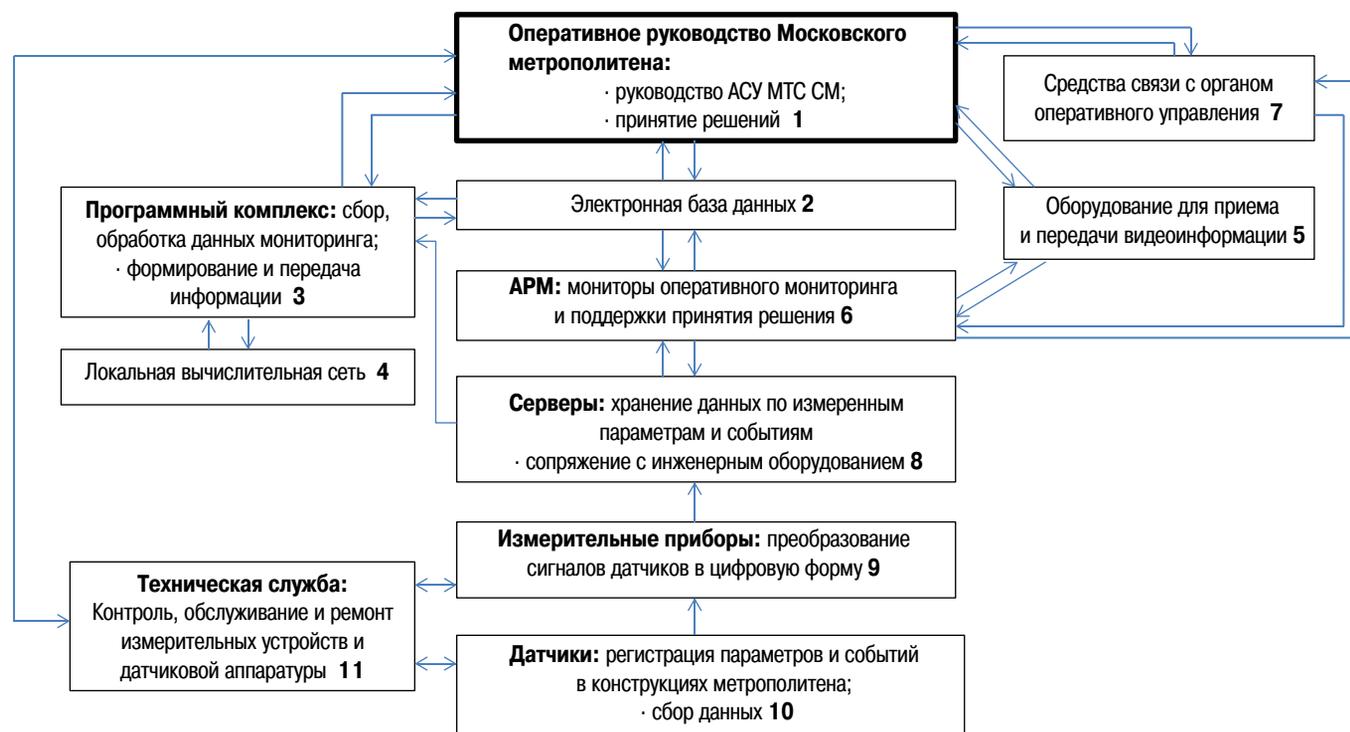
Как известно, метро в Москве работает с 1935 года. За это время на давно существующих линиях накопилось много проблем, обусловленных наличием значительного

количества проблемных (дефектных) участков. Для обеспечения их эксплуатационной безопасности требуется все большее вложение финансовых средств. При этом точный учет количества проблемных участков и их технического состояния отсутствует. Соответственно, встает вопрос о необходимости полного аудита всех линий с составлением электронной базы данных.

В условиях городского строительства основным способом обеспечения эксплуатационной безопасности действующих объектов метрополитена является мониторинг их технического состояния с выработкой и реализацией по его результатам защитных (предохранительных) мероприятий. В настоящее время актуальность и необходимость таковых возросла в связи с грандиозными масштабами метростроения в Москве и множеством других проектов развития инфраструктуры.

Упомянутый мониторинг технического состояния действующих объектов метрополитена осуществлялся (и осуществляется) в ручном режиме, то есть с использованием обычных (неавтоматизированных) средств и приборов измерений и передачи информации. Эффективность таких работ, однако, снижается из-за возрастающих их объемов.

Руководство Московского метрополитена, понимая важность проблемы, поставило задачу разработать автоматизированную систему мониторинга.



Структура АСУ МТС СМ

Разработка такой АСУ требует научного обоснования, попытка создания которого и описывается в данной работе.

### Что такое АСУ мониторинга

Можно следующим образом сформулировать цели разработки автоматизированной системы мониторинга:

1) обеспечение эксплуатационной безопасности строительных конструкций метрополитена, находящихся в зоне строительства новых объектов городской инфраструктуры;

2) создание (постепенно) глобальной системы автоматизированного мониторинга всех сооружений Московского метрополитена, в том числе их электронной базы.

АСУ мониторинга технического состояния сооружений метрополитена (АСУ МТС СМ) — это человек-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления процессами движения метропоездов и обслуживания пассажиров. Представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, который выполняет постоянное измерение параметров технического состояния сооружений метрополитена, регистрирует происходящие события, предупреждает о недопустимых отклонениях параметров, сигнализирует об аварийных ситуациях, обеспечивает сбор и архивирование данных, формирует отчеты.

Таблица 1

Перечень основных параметров и процессов, которые должны контролироваться АСУ МТС СМ

1	Нарушение целостности конструкции тоннельной обделки, разрывы (срезы) болтовых креплений
2	Выносы грунта из-за тоннельной обделки
3	Нарушение водонепроницаемости тоннеля с попаданием течей на электрооборудование, устройства СЦБ, пути и т. п.
4	Образование наледей на конструкциях тоннелей
5	Заиливание открытой или закрытой дренажной системы
6	Нарушение габаритов в результате проведения каких-либо работ
7	Поступление через тоннельную обделку горючих веществ (бензина, керосина, нефти и т. д.) и газа

АСУ МТС СМ обеспечивает получение объективных достоверных сведений.

Сложность и масштаб системы мониторинга в значительной степени зависят и от того, какие параметры и процессы она должна регистрировать и обрабатывать (см. табл. 1).

АСУ МТС СМ включает в себя следующие компоненты:

- технические средства: датчики, измерительные приборы, видеотехника;
- электронно-вычислительная техника: серверы, АРМы, локальная вычислительная сеть;
- программное обеспечение: управляющий программный комплекс, электронная база данных;
- средства связи: связь с органами управления; связь для приема и передачи видеоинформации; связь датчиковой

аппаратуры с измерительными приборами с серверами и АРМом.

■ технический персонал: управленцы, принимающие решения; операторы АРМ; программисты; электронщики.

Составная часть АСУ МТС СМ — автоматизированное рабочее место оператора (АРМ). Помимо персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения, требуется принтер и монитор, при необходимости, с широкоформатной панелью. Для наилучшего восприятия все данные в системе структурированы и отображаются на мониторе в графическом и текстовом виде.

АСУ мониторинга автоматически заполняет «протокол событий», в котором регистрируются аварийные и предупредительные сообщения, действия оператора, системные сообщения. Данный протокол, доступный

оператору в любой момент времени, является важнейшим источником информации о том, как работают система и персонал.

Еще один из ключевых элементов — сигнализация, сообщающая о следующих событиях: выход параметров за допустимые пределы; обрыв линий подключения датчиков; обрыв связи в сети обмена данными; неработоспособность отдельных измерительных приборов; сбои в работе АСУ МТС СМ. В указанных случаях система выдает световые и звуковые сигналы, а также регистрирует их в протоколе, который впоследствии заносится в архив.

Осуществляется также экстренное SMS-оповещение компетентных лиц о событиях, выбранных пользователем в качестве наиболее значимых: авария, предупреждение, передача смены, загрузка/выгрузка хранилища и другие.

Каждый пользователь, работая с системой мониторинга, играет определенную роль, которая предполагает соответствующий набор функций, прав и полномочий. Например, «администратор системы», «технолог», «заведующий складом», «оператор» и т. д. Система позволяет для каждой роли установить набор прав: доступа к выполняемым функциям, изменения уровней сигнализации, просмотра графиков, подготовки и просмотра отчетов и т. п. Каждому пользователю, безусловно, задаются персональный логин и пароль, которые необходимы для авторизации.

## Технические средства АСУ МТС СМ

В состав комплекса технических средств АСУ МТС СМ должны входить датчики информации, каналы связи, устройства телемеханики, аппаратура передачи данных и т. д.

Номенклатура датчиков:

а) контроль изменения состояния конструкций: деформационные репера и марки, деформограф (регистрация деформаций); электронные тахеометры; кодовые нивелиры; струнные деформометры (нормальные и тангенциальные напряжения в обделке, напряжения в обделке вдоль оси тоннеля); специальные датчики перемещений (смещения блоков обделки); датчики угла поворота (энкеры); датчики гидростатического давления;

б) контроль изменения состояния атмосферы в тоннеле (СО, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, датчики пожара).

Другие технические средства:

- средства обработки и отображения информации (ЭВМ, аналоговые и цифро-

вые приборы, дисплеи, устройства печати, функциональная клавиатура и др.);

- средства управления (контроллеры, исполнительные автоматы, электротехническая аппаратура: реле, усилители мощности и т. д.); вспомогательные системы (бесперебойного электропитания, кондиционирования воздуха, автоматического пожаротушения и т. д.).

Для решения задач оперативно-диспетчерского и организационного управления ЭВМ, как правило, образуют единый информационно-вычислительный комплекс (ИВК), состоящий из двух подсистем: информационно-управляющей и информационно-вычислительной.

Первая обеспечивает автоматический сбор и обработку телеинформации, управление средствами отображения, выполнение несложных оперативных расчетов, а также автоматическое управление. Вторая подсистема ИВК обеспечивает выполнение оперативных и краткосрочных плановых расчетов с использованием информации, передаваемой из первой подсистемы, решение задач оперативно-го учета и анализа использования ресурсов, состояния основного оборудования, технико-экономических показателей и др.

Задачи долгосрочного планирования режимов и организационно-экономического (хозяйственного) управления решаются на базе персональных компьютеров. Также применяются локальные вычислительные сети на базе ПЭВМ, которые устанавливаются непосредственно на автоматизированных рабочих местах пользователей-технологов.

Средства отображения информации включают в себя:

- диспетчерский щит с мнемосхемой основной сети энергопредприятия, отображающей текущее состояние коммутационной аппаратуры, комплексом различных цифровых и аналоговых приборов, табло и индикаторов для контроля основных параметров режима работы энергооборудования электрических и тепловых сетей, энергосистемы;

- дисплеи, обеспечивающие возможность вывода на экран имеющейся в ЭВМ информации и ввода данных для проведения необходимых расчетов;

- устройства печати результатов расчетов.

## Паспортизация сооружений и электронная база данных

Основным содержанием мониторинга является регулярное (с определенной пе-

риодичностью) обследование технического состояния сооружений метрополитена. По результатам для каждого из них составляется паспорт. Его форма разрабатывается соответствующей службой метрополитена. Паспорт сооружения должен содержать следующие сведения: год приема в эксплуатацию; тип конструкции, материал ее элементов; схема сооружения; дата проведения последнего обследования; дефектная ведомость; развертка внутренней поверхности сооружения с нанесенными дефектами (в соответствии с дефектной ведомостью).

При создании АСУ МТС СМ разрабатывается база данных, которая включает в себя в электронном виде паспорта всех сооружений. Она должна эксплуатироваться соответствующей структурой Московского метрополитена и постоянно пополняться данными как по очередным обследованиям, так и по новым объектам, вводимым в эксплуатацию.

Информация, которой наполняется база, формально состоит из двух частей: постоянная (данные о форме и материале обделки, о грунтах, о глубине заложения, о способе производства работ, о пикетаже и т. п.) и переменная (дефекты или их проявления, фотографии, схемы расположения дефектов и т. д.).

## Этапы создания АСУ МТС СМ

На организационном этапе разрабатывают и утверждают следующие документы:

- положение об АСУ МТС СМ и ее информационном сопряжении с органами повседневного управления Мосметрополитеном;

- инструкции об обмене информацией между ДДС (дежурно-диспетчерская служба) объектами, органами повседневного управления Мосметрополитена и городскими властями;

- дополнения и изменения к действующим инструкциям.

На техническом этапе разрабатываются и внедряются программно-технические средства АСУ, а также осуществляется их информационное сопряжение с органами повседневного управления метрополитеном.

Еще в 1980 году Госкомитет СССР по науке и технике выпустил «Общегораславские руководящие методические материалы по созданию организационно-технологических автоматизированных систем управления», по сей день не потерявшие свою актуальность.

В соответствии с этим документом устанавливаются следующие стадии создания АСУ МТС СМ:

а) предпроектная, этапы: разработка технико-экономического обоснования (ТЭО); разработка технического задания (ТЗ);

б) проектирования, этапы: разработка технического (технорабочего) проекта; разработка рабочего проекта;

в) ввод в эксплуатацию, этапы: ввод в действие частей АСУ МТС СМ; комплексная стыковка частей; опытная эксплуатация системы; ввод в промышленную эксплуатацию.

Разработка и внедрение АСУ МТС СМ могут вестись очередями (не более двух), состав и сроки которые определяются в техническом задании. В ТЗ в разделе «Стадии и этапы создания АСУ МТС СМ» приводятся:

- обоснования стадийности, этапов, количества и состава очередей создания системы;

- план-график создания системы;

- состав и содержание работ по первой очереди.

ТЭО содержит в себе следующие разделы:

- анализ производственных процессов перевозки пассажиров, возможности

устранения дефектов в конструкциях за счет внедрения АСУ МТС СМ;

- обоснование выбора направлений и уровня автоматизации функций управления взаимосвязанными организационными и техническими процессами;

- обоснование основных предложений по укрупненной функциональной структуре АСУ МТС СМ;

- обоснование основных предложений по средствам АСУ МТС СМ, обеспечивающим совместимость и взаимодействие всех составных частей системы;

- технико-экономические расчеты;

- выводы и предложения.

### Преимущества системы автоматизированного мониторинга

Описываемая в данной работе система автоматизированного мониторинга обладает рядом преимуществ, которые позволяют пользователю получить оптимальное решение:

- модульность — система строится из отдельных модулей, число которых может

наращиваться по мере необходимости и в разное время;

- масштабируемость — масштаб системы может быть очень разным: от единиц до тысяч точек контроля;

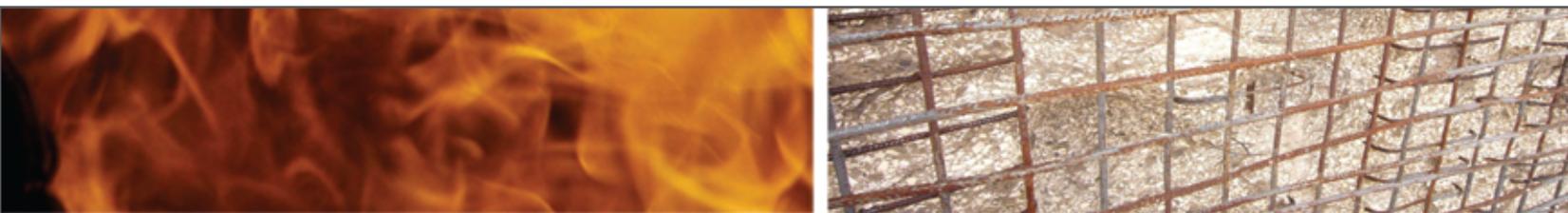
- поэтапность создания — система может создаваться и вводиться в эксплуатацию поэтапно, при этом на каждом этапе заказчик получает работающее полнофункциональное решение;

- гибкость архитектуры — учитываются особенности объектов, их взаимное расположение, информационные потоки, масштаб системы, этапность создания;

- разнообразие конструктивных решений — обеспечивает оптимальный вариант для выбранной архитектуры и масштабов системы.

Указанные особенности позволяют наиболее полно и точно удовлетворять требования заказчика, учитывать особенности объектов, планировать развитие системы, постепенно наращивая ее возможности и масштабы.

В результате обеспечивается оптимизация финансовых затрат, повышается эффективность инвестиций и конкурентоспособность предприятий. ■



## ТЕХНОЛОГИИ ООО «ПРОЗАСК» для повышения огнестойкости железобетонных конструкций



Бетон во время огневого воздействия может быстро (уже через 10–15 минут) разрушаться по причине, называемой «взрывообразное/хрупкое разрушение бетона». Признаками протекания такого явления являются потеря целостности бетонной конструкции со стороны обогреваемой поверхности, звуковые эффекты, отрыв и разлет осколков бетона на расстояние иногда до 10–20 м. Это приводит к быстрому уменьшению толщины защитного слоя бетона, преждевременному прогреву арматурного каркаса и резкому снижению несущей способности конструкции.

Результаты проведенных во ВНИИПО МЧС России огневых испытаний показали, что применение в композициях тяжелых и мелкозернистых бетонов нашей т.н. «огнезащитной» фибры PROZASK IGS позволяет предотвратить взрывообразное разрушение бетона при высокотемпературном воздействии и тем самым повысить огнестойкость железобетонных конструкций до требуемых значений.



Надежным методом повышения огнестойкости конструкций является применение конструктивных огнезащитных материалов. Плиты огнезащитные на цементном связующем с легким минеральным наполнителем, армированные с двух сторон стеклотеткой, с односторонним защитным покрытием «ПРОЗАСК Файерпанель» (Россия) и огнезащитные плиты «PS AESTUVER T» (Германия) прошли серию российских физико-механических и огневых испытаний, имеют отчеты об испытаниях и заключения ВНИИПО МЧС России о повышении огнестойкости строительных конструкций (стальных, железобетонных) до R240, а также стен и перекрытий. Данные продукты уже нашли свое применение на десятках ответственных объектов в России.



В.Е. РУСАНОВ,  
к.т.н., доцент,  
заместитель генерального  
директора по науке  
ООО «Научно-инженерный центр  
Тоннельной ассоциации»

*Вопрос применения фибробетона в качестве конструкционного материала тоннельных обделок был обозначен более 50 лет назад. Первый опыт применения фибробетона при строительстве тоннелей относится к его использованию в качестве материала первичной (временной) крепи, сооружаемой методом набрызга — фибробрызгбетонной крепи в 70-х годах прошлого столетия.*

## СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ И НОРМАТИВНАЯ БАЗА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИБРОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК ТОННЕЛЕЙ

**В** настоящее время фибробетоны широко применяются для изготовления сборных блоков тоннельных обделок, сооружаемых щитовым способом, монолитных обделок горных тоннелей и обделок, сооружаемых методом набрызга.

Одним из перспективных направлений в тоннелестроении является изготовление сборных высокоточных блоков с применением фибробетонов, при этом, в зависимости от условий сооружения и эксплуатации конструкции, возможно армирование блоков только фиброй (фибробетонные блоки), либо комбинированное армирование (фиброжелезобетонные блоки).

Технико-экономическая эффективность таких блоков достигается за счет значительного снижения трудозатрат при изготовлении арматурных каркасов. В случае с фибробетонными блоками — они отсутствуют, в случае с фиброжелезобетонными блоками каркасы имеют облегченную конструкцию.

Относительно большой опыт сооружения тоннелей с блочной обделкой накоплен с 80-х годов XX века за рубежом. В таблицах 1 и 2 представлены данные по строительству тоннелей щитовым способом с применением фибробетонных и фиброжелезобетонных высокоточных блоков. По данным таблиц

Таблица 1.  
Перечень тоннелей коммунального назначения

Проект	Год	Страна	Назначение	$D_{\text{внутр}}, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$D_{\text{внутр}}/h$	Тип ФБ	$N_{\text{ф,с}}, \text{ кг/м}^3$	$N_{\text{ф,с}}, \%$	Стержни
Fanaco	1989	Италия	Водоснабжение	3.00	0.20	15.00	СФБ	–	–	Нет
Heathrow Baggage Handling Tunnel	1993	Англия	Сервис	4.50	0.15	30.00	СФБ	30	0.38	Нет
Lesotho Highlands	1995	Южная Африка	Водоснабжение	4.50	0.30	15.00	СФБ	50	0.64	Нет
Hachinger	1998	Германия	Водоснабжение	2.20	0.18	12.20	СФБ	–	–	Нет
Ecuador's Trasvases Manabi (La Esperanza)	2001	Эквадор	Водоснабжение	3.50	0.20	17.50	СФБ	30	0.38	Нет
Sörenberg	2002	Швейцария	Газопровод	3.80	0.25	15.20	СФБ	40	0.51	Нет
Canal de Navarra	2003	Испания	Водоснабжение	5.40	0.25	21.60	–	–	–	Нет
San Vicente	2006	США	Водоснабжение	3.20	0.18	17.80	СФБ	30	0.38	Нет
Heathrow – SWOT	2006	Англия	Водоснабжение	2.90	0.20	14.50	СФБ	30	0.38	Нет
The Hofoldingner Stollen	2007	Германия	Водоснабжение	2.90	0.18	16.10	СФБ	40	0.51	Нет
Gold Coast Desalination Plant	2008	Австралия	Водоснабжение	3.40	0.20	17.00	СФБ	35	0.45	Нет
Big Walnut Sewer	2008	США	Канализация	3.70	0.23	16.10	СФБ	35	0.45	Есть
Hobson Bay	2009	Новая Зеландия	Канализация	3.70	0.25	14.80	СФБ	40	0.51	Нет
Copenhagen District Heating Tunnel (Heating Tunnel Amager)	2009	Дания	Водоснабжение	4.20	0.30	14.00	СФБ	35	0.45	Нет
Harefield Gas Tunnel	2009	Англия	Газопровод	2.60	0.18	14.40	ПФБ	7	0.78	Нет
Fontsaña Trinitat Interconnection Tunnel	2010	Испания	Водоснабжение	5.20	0.20	26.00	СФБ	25	0.32	Есть
Ems-Dollard Crossing	2010	Германия - Нидерланды	Газопровод	3.00	0.25	12.00	–	–	–	Нет
City West Cable Tunnel (CWCT)	2010	Австралия	Энергоснабжение	2.50	0.20	12.50	–	–	–	Нет
Adelaide Desalination Plant	2010	Австралия	Водоснабжение	2.80	0.20	14.00	СФБ	35	0.45	Нет
Brightwater East	2011	США	Канализация	5.10	0.26	19.60	СФБ	35	0.45	Нет
Brightwater West	2011	США	Канализация	3.70	0.26	14.20	СФБ	35	0.45	Нет
East side CSO Tunnel	2011	США	Канализация	6.70	0.36	18.60	СФБ	32	0.40	Нет
Izumi-Otsu	2011	Япония	Водоснабжение	1.80	0.13	14.40	СФБ	32	0.40	Есть
Victorian Desalination Plant	2011	Австралия	Водоснабжение	4.00	0.23	17.40	–	–	–	Нет
Monte Lirio Tunnel	2012	Панама	Водоснабжение	3.20	0.25	12.80	СФБ	40	0.51	Нет
Pando	2012	Панама	Водоснабжение	3.00	0.25	12.00	СФБ	40	0.51	Нет
Midosuji Utility	2012	Япония	Сервис	5.10	0.15	33.80	СФБ	32	0.40	Есть
El Alto	2013	Панама	Водоснабжение	5.80	0.35	16.60	СФБ	40	0.51	Нет
Asada Trunk Line	2013	Япония	Канализация	4.60	0.20	22.80	СФБ	25	0.32	Есть
Oi-Ariake Cable	2013	Япония	Энергоснабжение	4.00	0.20	20.00	СФБ	32	0.40	Есть
STEP Abu Dhabi Lot T-02	2014	ОАЭ	Канализация	6.30	0.28	22.50	СФБ	30	0.38	Есть
Abu Hamour	2016	Катар	Дренаж	3.70	0.25	14.80	СФБ	40	0.51	Нет
Abatemarco	–	Италия	Водоснабжение	3.50	0.20	17.50	СФБ	40	0.51	Нет
Public Sewage	–	Япония	Канализация	5.60	0.18	32.00	СФБ	43	0.55	Есть
Lee Tunnel Sewer	2016	Англия	Канализация	7.20	0.35	20.60	–	–	–	Нет

Таблица 2.  
Перечень тоннелей транспортного назначения

Проект	Год	Страна	Назначение	$D_{\text{внутр}}, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$D_{\text{внутр}}/h$	Тип ФБ	$N_{\text{ф}}, \text{ кг/м}^3$	$N_{\text{ф.в}}, \%$	Стержни
Metrosud	1982	Италия	Метро	5.80	0.30	19.30	СФБ	—	—	Нет
Heathrow Express	1994	Англия	Ж.д.	5.70	0.22	25.90	СФБ	30	0.38	Нет
NapoliMetro	1995	Италия	Метро	5.80	0.30	19.30	СФБ	40	0.51	Нет
2nd Heinenoord	1999	Нидерланды	А.д.	7.60	0.35	21.70	СФБ	—	—	Нет
Jubilee Line Extension	1999	Англия	Метро	4.50	0.20	22.30	СФБ	30	0.38	Нет
Essen	2001	Германия	Метро	7.30	0.35	20.90	СФБ	—	—	Нет
Oënzberg tunnel	2003	Швейцария	Ж.д.	10.80	0.30	36.00	—	—	—	Нет
Oënzberg-TBM	2003	Швейцария	Ж.д.	11.40	0.40	28.50	СФБ	30	0.38	Есть
Oënzberg-Shield	2003	Швейцария	Ж.д.	11.40	0.40	28.50	СФБ	60	0.76	Нет
Barcelona Metro Line 9 – Can Zam Stretch	2003	Испания	Метро	10.90	0.35	31.10	СФБ	60	0.76	Нет
Channel Tunnel Rail Link (CTRL)	2004	Англия – Франция	Ж.д.	7.20	0.35	20.40	СФБ	30	0.38	Нет
Heathrow Express Extension (HexEx)	2005	Англия	Ж.д.	5.70	0.22	25.90	СФБ	30	0.38	Нет
Metropolitan Expressway Central Circular Shinjuku Route tunnel	2005	Япония	А.д.	10.90	0.45	24.20	СФБ	63	0.80	Есть
Barcelona Metro Line 9 – Stretch I	2006	Испания	Метро	8.40	0.32	26.30	СФБ	30 и 25	0.38 и 0.32	Есть
Lötschberg	2007	Швейцария	Ж.д.	4.50	0.22	20.50	СФБ	—	—	Нет
Beacon Hill Tunnels	2007	США	А.д.	6.70	0.30	22.30	—	—	—	Нет
Madrid Metro	2007	Испания	Метро	8.40	0.30	28.00	СФБ	25	0.32	Есть
Line 1 of the Valencia Metro	2007	Испания	Метро	8.40	0.40	21.00	—	—	—	Есть
Heathrow – PiccEx	2008	Англия	Метро	4.50	0.15	30.00	СФБ	30	0.38	Нет
Heathrow Express Ext. Tunnel to T5	2008	Англия	Ж.д.	5.70	0.22	25.90	СФБ	30	0.38	Нет
São Paulo Metro Line 4	2009	Бразилия	Метро	8.40	0.35	24.00	СФБ	35	0.45	Нет
Docklands Light Railway (DLR) Extension	2009	Англия	Ж.д.	5.30	0.25	21.20	СФБ	—	—	Нет
Malaga Rail Tunnel	2009	Испания	Ж.д.	8.40	0.32	26.30	ПФБ	5	0.56	Есть
The Clem Jones Tunnel - Clem 7	2010	Австралия	А.д.	11.20	0.40	28.00	СФБ	37	0.47	Есть
Extension of the FGC in Terrassa	2010	Испания	Ж.д.	6.00	0.30	20.00	СФБ	25	0.32	Есть
Keio line	2010	Япония	Ж.д.	6.70	0.30	22.30	СФБ	63	0.80	Есть
Metropolitan Expressway	2011	Япония	А.д.	13.40	0.45	29.80	СФБ	47	0.60	Есть
Airport Link	2012	Австралия	А.д.	11.40	0.40	28.40	СФБ	35	0.45	Нет
Sagami Line	2012	Япония	А.д.	11.80	0.50	23.60	СФБ	47	0.60	Есть
Koishikawa Kasen	2013	Япония	Ж.д.	6.70	0.30	22.30	СФБ	47	0.60	Есть
The Wehrhahn Line	2014	Германия	Метро	8.30	0.30	27.7	СФБ	30	0.38	Нет
San Francisco Central Subway	2014	США	Ж.д.	5.40	0.28	19.30	СФБ	30	0.38	Есть
Legacy Way	2015	Австралия	А.д.	11.30	0.35	32.30	СФБ	40	0.51	Нет
Metropolitan Expressway	2015	Япония	А.д.	12.30	0.40	30.80	СФБ	47	0.60	Есть
Doha Metro Red North Litle	2016	Катар	Метро	6.17	0.30	20.60	СФБ	40	0.51	Нет
Downtown Line 3	н.в.	Сингапур	Метро	5.80	0.28	21.10	СФБ	40	0.51	Нет
Thomson Line	н.в.	Сингапур	Метро	5.80	0.28	21.10	СФБ	40	0.51	Нет
Crossrail	н.в.	Англия	Ж.д.	6.20	0.30	20.70	СФБ	30 и 40	0.38 и 0.51	Нет
Brenner Base Tunnel	н.в.	Италия – Австрия	А.д.	5.60	0.20	28.00	—	—	—	Есть

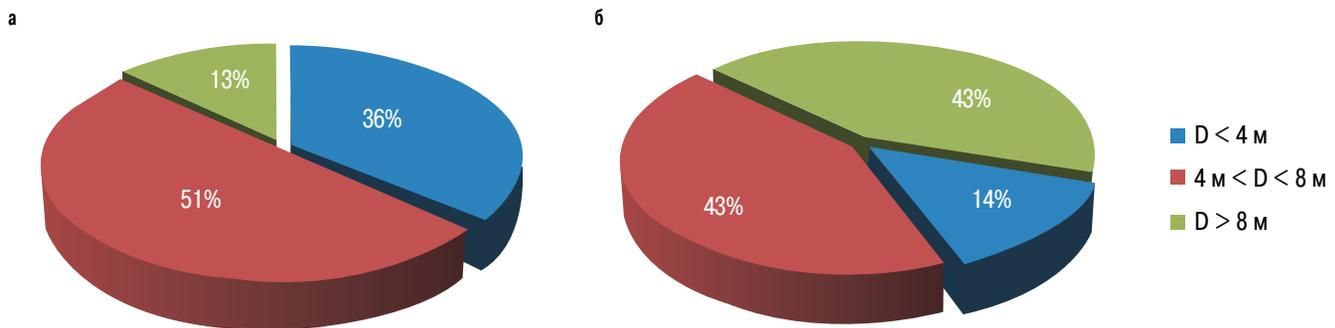


Рис. 1. Распределение по диаметрам тоннелей: а — из фибробетонных блоков; б — из фиброжелезобетонных блоков

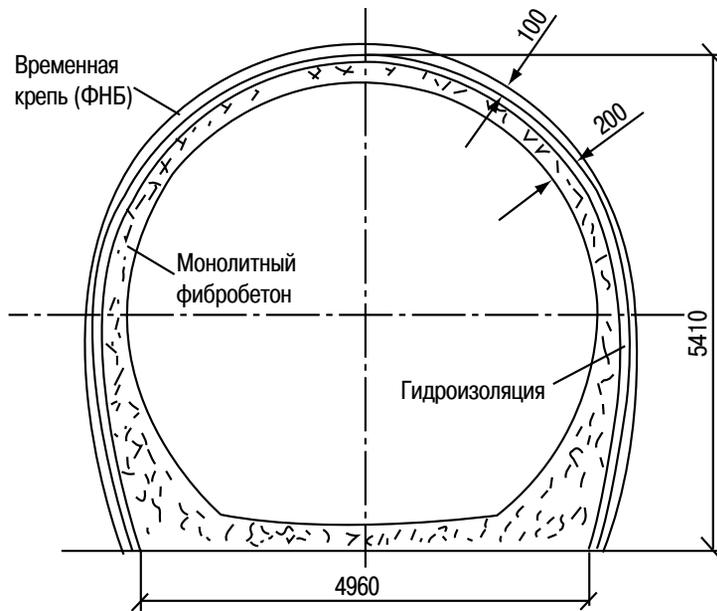


Рис. 2. Эскиз проектного решения монолитной обделки тоннеля из фибробетона

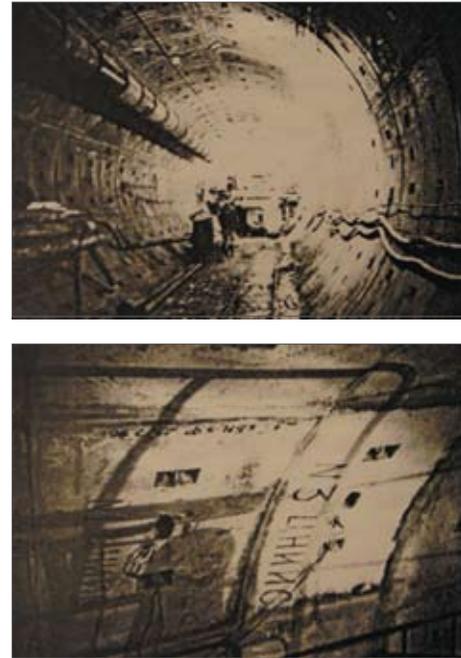


Рис. 3. Экспериментальный участок в Санкт-Петербурге

с 1989 года было построено 36 тоннелей коммунального назначения (канализация, водоснабжение, энергоснабжение и т.д.), с 1982 года — 39 тоннелей транспортного назначения (метро, железные дороги, автомобильные дороги).

Анализ данных таблиц показывает, что в 71% случаев при строительстве тоннелей применялись фибробетонные блоки без дополнительного стержневого армирования. При рассмотрении применения фибробетонных и фиброжелезобетонных блоков в зависимости от диаметров сооружаемых тоннелей (рис. 1) видно, что наибольшее число построенных тоннелей из фибробетонных блоков (51%) имеют диаметры 4–8 м.

При применении фиброжелезобетонных блоков наибольшее число тоннелей (86%) имеют диаметры более 4 м.

К сожалению, отечественный опыт сооружения тоннелей с применением фи-

бробетонных ограничивается лишь экспериментальными участками.

Так, в 1996 году в Москве был сооружен участок с применением фибронабрызгбетонной крепи и монолитной фибробетонной обделки на перегонном тоннеле Московского метрополитена между станциями «Киевская» и «Парк Победы» (рис. 2).

В 1997 году в Санкт-Петербурге были смонтированы 3 кольца (№№544...546) обделки из фибробетона в перегонном тоннеле у шахты №622 вблизи станции «Международная» (рис. 3).

Успешный опыт зарубежных коллег и менее успешный отечественный опыт заставляет задаться вопросом — в чем же причины сдерживания развития данной технологии в нашей стране? Прежде всего, это объясняется:

- отсутствием актуальной нормативной базы для проектирования несущих конструкций транспортных тоннелей из фибробетона;

- отсутствием нормативной базы для определения физико-механических характеристик и контроля качества фибробетона;

- отсутствием норм и рекомендаций по производству фибробетонных смесей, выбора фибры для несущих конструкций;

- отсутствием у заводов ЖБИ специального оборудования для производства фибробетонных — дозаторов фибры, специальных смесителей, лабораторного оборудования для контроля качества;

- в большинстве случаев некорректной технико-экономической оценкой эффективности применения фибробетона.

Единственным нормативно-методическим документом в РФ, посвященным проектированию транспортных тоннелей из фибробетона, является СТО НОСТРОЙ 2.27.125.2013 «Освоение подземного пространства. Конструкции транспортных тоннелей из фибробетона. Правила проектирования и производства работ».

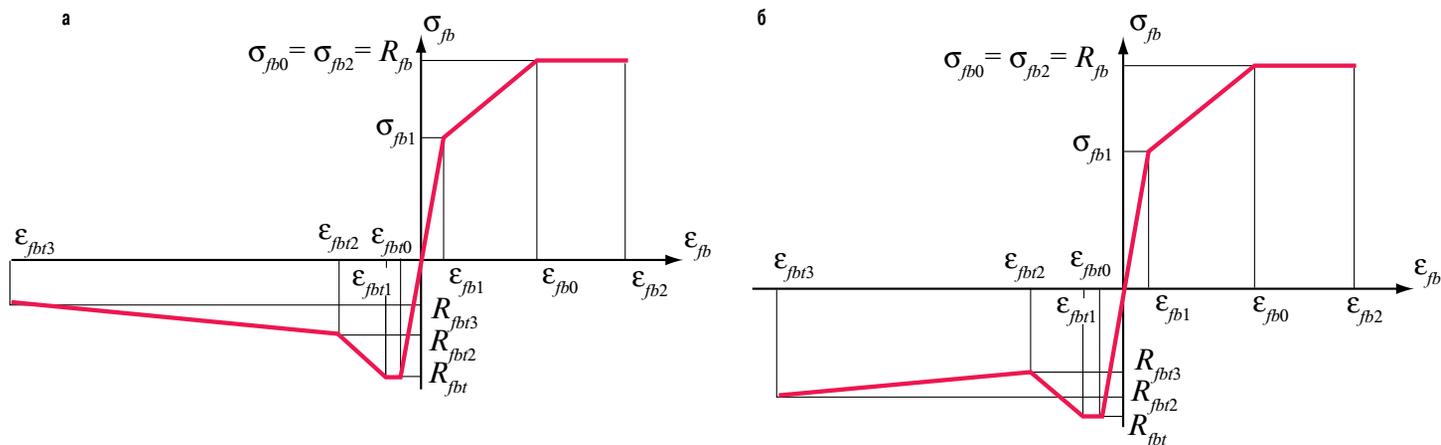


Рис. 4. Диаграммы деформирования фибробетона при сжатии и растяжении: а – при «разупрочняющемся» характере работы фибробетона с трещинами; б – при «упрочняющемся» характере работы фибробетона с трещинами

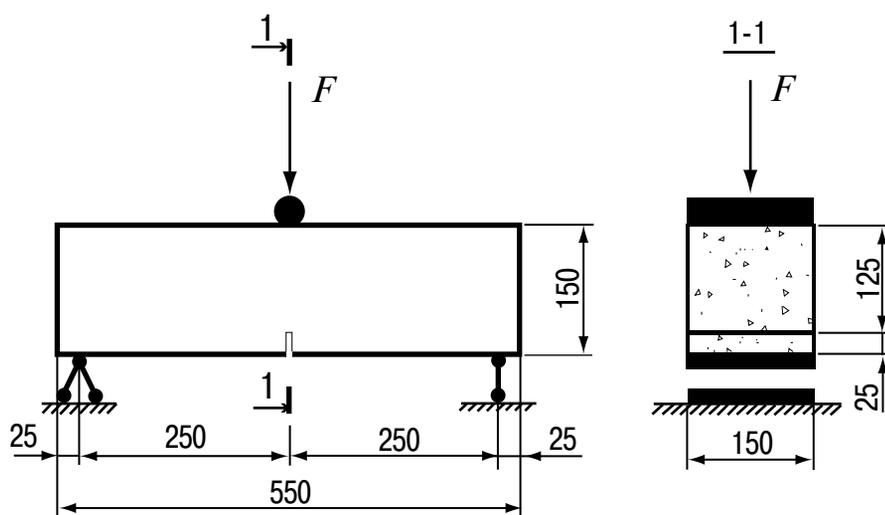


Рис. 5. Схема испытания образца по EN и СП

Однако положения данного стандарта не являются основанием для использования проектировщиками и экспертами в связи с отсутствием у него федерального статуса.

В октябре 2017 года и июне 2018 года Минстроем России были введены в действие своды правил СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования» и СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования», которые имеют статус федеральных стандартов, но пока еще малоизвестны проектировщикам-тоннельщикам.

Указанные своды правил (СП) распространяются на проектирование конструкций зданий и сооружений различного назначения из фибробетона, армированного стальной или неметаллической фиброй с применением или без применения стержневого армирования. СП разработаны на основе передового европейского опыта, опираясь на положения «Model Code 2010» (fib Model Code 2010), EN 14651 (EN 14651

Test method for metallic fibered concrete — Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual), а также упомянутый выше СТО НОСТРОЙ 2.27.125.2013.

Наиболее важное нововведение стандартов СТО НОСТРОЙ и СП — это классификация фибробетона по остаточной прочности на растяжение, которая определяет гарантированную прочность материала при сопротивлении силовым факторам после образования трещин, что не учитывалось в предыдущих стандартах РФ.

Используя классы фибробетона по прочности на сжатие и по остаточной прочности на растяжение, проектировщик на начальном этапе проектирования конструкции имеет возможность назначить диаграмму деформирования фибробетона, используя характеристики прочности и деформативности, соответствующие классам (рис. 4).

В этом случае расчет по предельным состояниям конструкции производится с использованием нелинейной деформа-

ционной модели с заданной диаграммой деформирования фибробетона.

Такой подход позволяет оценить возможность применения фибробетона определенных классов по прочности на сжатие и по остаточной прочности на растяжение в конструкциях при различных условиях без учета таких данных, как вид, дозировка, способ анкеровки фибры и т.д., аналогично тому, как при назначении класса обычного бетона по прочности на сжатие проектировщики обычно не берут во внимание прочность щебня, используемого для его приготовления.

Обеспечение классов фибробетона по прочности на сжатие и по остаточной прочности на растяжение — задача завода-изготовителя.

Также важной является методика определения остаточной прочности фибробетона на растяжение, приведенная в СП. Описанная методика основана на положениях EN 14651 — испытание образцов балок с надрезом по трехточечной схеме на растяжение при изгибе (рис. 5).

Таким образом, благодаря введению в действие сводов правил СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования» и СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования» у проектировщиков появилась возможность использования фибробетона в проектах, а у заводов — законная методика его испытания и определения физико-механических свойств.

Тем не менее, конструкции подземных сооружений, обделки транспортных тоннелей обладают своей спецификой по сравнению с наземными сооружениями, что должно учитываться при совершенствовании нормативной базы. ■



А. Н. РЕВВА,  
заместитель генерального  
директора — главный технолог  
ОАО «Метрострой»

*История строительства стволов в мировой практике достаточно разнообразна. В отечественном метростроении за эволюцией проходки стволов мы можем наблюдать на примере старейшего в стране Московского метрополитена, где изначально применялся метод опускного колодца, а в сложных геологических условиях предпочтение отдавалось кессону. Концепции известных на тот момент технологий не решали проблему строительства шахтных стволов в неустойчивых породах с большим водопритоком.*



190013, г. Санкт-Петербург,  
Загородный пр., д. 52а  
Тел.: +7 (812) 635-77-55  
Факс: 635-77-47  
E-mail: mail@metrostroy-spb.ru  
www.metrostroy-spb.ru

## ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В СФЕРЕ ГОРНОСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

Затем было освоено предварительное замораживание грунтов и погружение крепи с помощью домкратной станции. Прорывным в этой цепочке в 1969 году становится метод погружения крепи в тиксотропной «рубашке», позволяющий вести проходку ствола в сложных гидрогеологических условиях без применения предварительного замораживания грунтов. Но реализация этой технологии в условиях Санкт-Петербурга была признана нецелесообразной по причине большого количества валунов и близкого расположения грунтовых вод относительно поверхности земли. Поэтому в Северной столице обрела свою популярность технология с предварительным замораживанием грунтов.

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

В начале 2000-х годов технология проходки ствола в тиксотропной «рубашке» была усовершенствована немецкими инженерами, в результате чего создана стволопроходческая машина VSM. Разработка грунта в этом случае осуществляется с помощью телескопической стрелы с шарошечным режущим органом, а порода выдвигается на поверхность к сепараци-

онным установкам по трубам в виде пульпы. В остальном все элементы давно зарекомендовавшей себя технологии повторялись.

Производство проходческого оборудования во времена перестройки в СССР пришло в упадок. В последние же годы эта сфера начинает набирать обороты. Так, при совместной работе ОАО «Метрострой» и ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» (ООО «СОЭЗ») создан комплекс тоннелепроходческий механизированный КТПМ-5,6 для сооружения перегонных тоннелей метрополитена.

Следующим шагом совместной работы этих двух организаций стало создание стволопроходческого комплекса, который заменит ручной труд механизацией процессов строительства стволов, повысит производительность и обеспечит безопасность ведения горнопроходческих работ.

Стволопроходческий комбайн СПК-6,0 предназначен для выполнения следующих технологических операций:

- разработка грунтового массива вертикального шахтного ствола механизированным способом;
- погрузка разработанного грунта подвешенным на силовом секторе комбайна экскаватором-погрузчиком в породную бадью;
- сборка тубингового кольца на

монтажном кольце комбайна с последующим его подъемом и креплением к колонне ствола.

Работа комбайна осуществляется по циклической схеме после придания неустойчивым грунтам прочности и предотвращения притока в выработку воды методом замораживания.

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

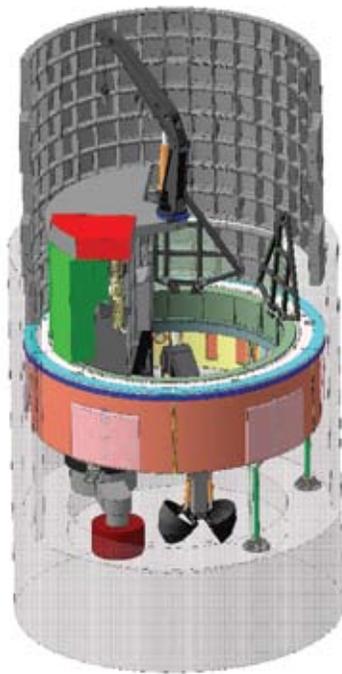
Исполнительным органом осуществляется разработка породы на заданную глубину по всей площади сечения ствола. При метровом чугунном кольце это два слоя обработки забоя по полметра.

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

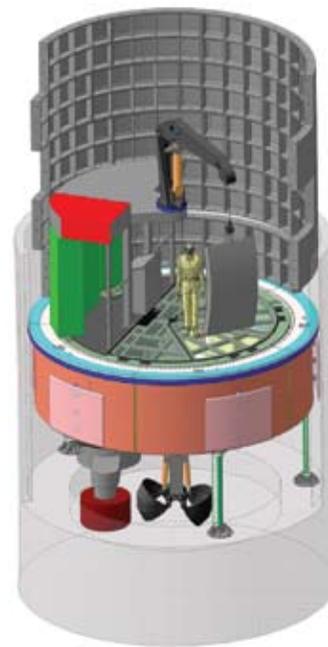
Погрузка разработанного грунта осуществляется подвешенным на силовом секторе комплекса экскаватором-погрузчиком в породную бадью, опускаемую с поверхности. Далее производится опускание комбайна на величину обработанного пространства, монтаж нового кольца тубингов с подачей и стыковкой его к колонне ствола.

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

После этого цикл проходки повторяется.



Разработка грунта



Монтаж обделки ствола

#### Технические характеристики СПК-6,0:

- диаметр возводимого ствола — 5,5 м;
- способ разработки грунта – механизированный, барабанной фрезой с режцовым инструментом;
- глубина захватки — 0,5 м;
- способ погрузки — периодический, с использованием подвешного экскаватора-погрузчика;
- объем ковша экскаватора-погрузчика — 0,3 м<sup>3</sup>;
- масса комбайна — 60 т;
- скорость проходки — 2 м/сут.

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

Ствол сооружается в сложных геологических условиях — на юго-западном борту Васильевского «размыва»: до глубины 39 м это слабосвязные глинистые и рыхлые обводненные совершенно неустойчивые четвертичные отложения с галькой и валунами. Уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 1,2 м от дневной поверхности. Водовмещающими являются насыпные грунты, пески пылеватые и прослой песка в слоистых суглинках и супесях. Подземные воды залегают на глубине 35–37 м. Водовмещающими являются гравийно-галечные грунты. Воды напорные: гидростатическое давление 0,34 МПа.

Учитывая эти условия, до начала проходки было выполнено рассольное



Режущий орган



Экскаватор-погрузчик



Строительная площадка шахты №571



Извлеченный валун

замораживание грунтов на глубину 42 м. Проходческие работы ведутся в штатном режиме с небольшими отклонениями по скорости проходки, что обусловлено процессом освоения и отработки новой техники и обучением персонала. Сказываются и геологические условия — ежедневно приходится извлекать валуны.

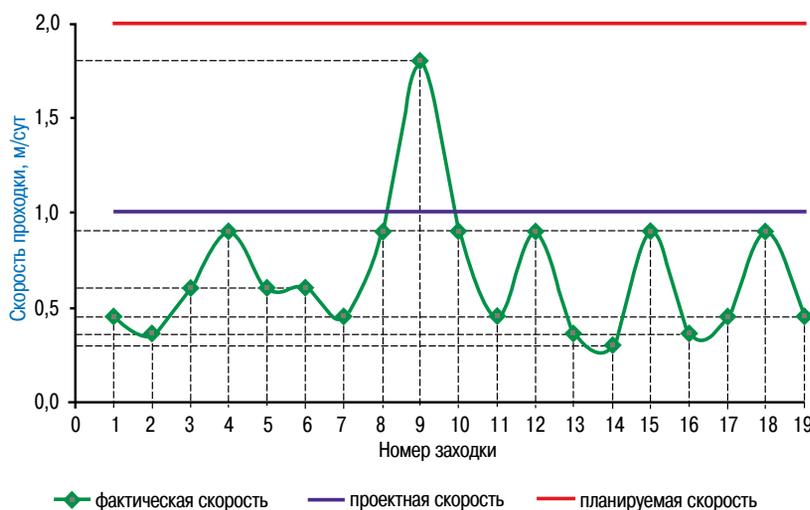
К примеру, на начальном этапе проходки мы столкнулись с перегревом планетарного редуктора привода режущего органа. После обследования механизмов, специалисты пришли к выводу, что комплексу требуется дополнительная система смазки и охлаждения привода фрезы. Комплекс был оперативно доработан и продолжил свою работу.

Проектом производства работ для сооружения первого ствола прогнозировалась скорость в 1 м/сут, на которую метростроевцы планируют выйти после монтажа горного комплекса.

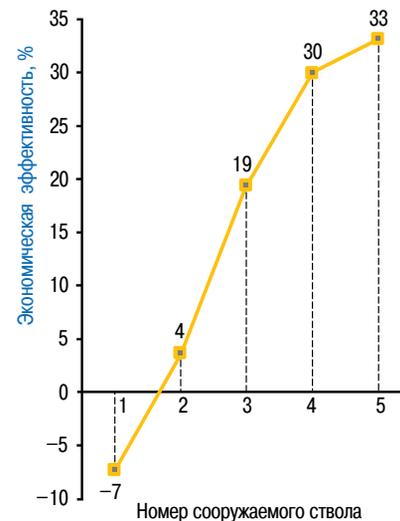
В дальнейшем, после освоения техники, технические характеристики СПК-6,0 позволяют выйти на планируемую скорость сооружения стволов в 2 м/сут, которая почти была достигнута на 9-й заходке.

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

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



Скорость проходки



Экономическая эффективность применения СПК-6,0



С. Ф. АНДРЕЕВ

*Строительство двухпутного тоннеля между станциями «Приморская» и «Беговая» Невско-Василеостровской линии Санкт-Петербургского метрополитена велось тоннелепроходческим механизированным комплексом с грунтопригрузом «Надежда» с применением железобетонной обделки Дн/Двн = 10,3/9,4 м. Проект строительства в России двухпутного тоннеля метрополитена реализовывался в рамках проведения Чемпионата мира по футболу. Перед специалистами компании-исполнителя была поставлена задача подобрать высокотехнологичный инъекционный раствор для заполнения строительного зазора между массивом грунта и обделкой тоннеля.*

## ПРИМЕНЕНИЕ ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА ЗА ТОННельНОЙ ОБДЕЛКОЙ

**П**роходка тоннеля между Васильевским, Крестовским островами и Приморским районом — одна из самых сложных задач в истории Метростроя. Работы начались от стартового котлована на Туристской улице и будут завершены в демонтированной камере в районе станции «Приморская». Участок от монтажных котлованов (ПК60) до демонтированной камеры у станции «Приморская» (ПК113+50) длиной около 5,3 км имеет в основном неглубокое заложение, и лишь в районе Василевского острова трасса заглубляется до 50–60 м в протерозойскую толщу. Большая часть трассы проходит под акваторией Большой и Малой Невки и Финского залива. Трасса пересекает два станционных котлована. Часть трассы тоннеля запроектирована в пределах застроенной части Приморского и Василеостровского

районов. Здесь застройка представлена общественными и жилыми зданиями разных конструктивных типов и этажности.

### Тампонажный раствор для первичного нагнетания

Заполнение пространства за обделкой тоннеля определяет успех проходки в целом, так как позволяет снизить осадки грунта вокруг тоннеля, обеспечить равномерный контакт между обделкой и грунтом. В современных ТПМК с грунтопригрузом заполнение заобделочного пространства всегда выполняется в продольном направлении через трубопроводы, встроенные в оболочку щита, конструкция которых позволяет произво-

дить нагнетание одновременно с продвижением щита.

### Подбор состава тампонажного раствора

При выполнении различных проектов в городских условиях в разных странах подбирают необходимый состав раствора с применением различных видов цемента. Необходимо тщательно подобрать состав тампонажного раствора, который позволит обеспечить адекватные механические характеристики и удовлетворить таким требованиям в отношении перекачиваемости, как: сохранение высокой пластичности раствора во время длительного хранения и транспортировки; сохранение устойчивости к расслоению при хранении и нагнетании, равномерность потока при нагнетании.

Состав раствора и процедуры нагнетания, разработанные в рамках проекта, должны обеспечить постоянную и равномерную подачу раствора по линиям нагнетания, что позволяет гарантировать эффективную работу всей системы и снизить необходимость в ее чистке.

На основании проектных данных разработали и утвердили состав исходного раствора. При этом, как правило, требуется соблюдение таких технических характеристик, как время гелеобразования, прочность при сжатии после определенного временного промежутка (4 часа, 8 часов, 24 часа, 28 дней). Таким образом, для получения желаемого результата можно использовать различные методики. При этом необходимо помнить, что применение правильно подобранного раствора не даст желаемого результата или окажется неэффективным при отсутствии надлежащего контроля или в случае несоблюдения предписанного технологического процесса.

Используются следующие материалы:

- вяжущее — портландцемент на основе клинкера с нормированным минералогическим составом ЦЕМ I 42,5 Н (класса 42,5 нормальнотвердеющий), удовлетворяющий требованиям ГОСТ 31 108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия», ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Технические условия»;

- мелкий заполнитель — плотный, чистый песок с модулем крупности  $M_{кр} = 1,4 \div 1,8$ , соответствующий требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». Для приготовления тампонажных растворов смесей повышенной подвижности рекомендуется использовать мелкий песок II класса чистый, плотный, со стабильным гранулометрическим составом, с определенным содержанием фракций;

- наполнитель — с целью обеспечения оптимального количества теста в состав тампонажной растворной смеси вводится микронаполнитель — минеральный порошок МП-1. Выпускается по ГОСТ Р 52129-2003. Зола уноса — высококальциевая для регулирования равномерности изменения объема цементного камня, а также для улучшения технологических характеристик перекачиваемости тампонажных смесей;

- добавки — для улучшения технологических свойств растворов и получения требуемых характеристик тампонажного камня рекомендуется применять различные химические добавки: суперпластификаторы, замедлители и стабилизаторы (ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия»). Химические добавки должны иметь гигиенические сертификаты;

- вода для приготовления бетонной смеси должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».

### Приготовление и нагнетание тампонажного раствора

Тампонажный раствор готовился за пределами тоннеля на растворном узле. Готовый раствор транспортировался в специальную емкость в хвостовой части ТПМК, откуда подавался в заобделочное пространство.

Согласно стандартам, каждый раз готовился и транспортировался новый раствор для заполнения конкретного объема. Важно отметить, что наличие остатка раствора после очередного продвижения указывает на то, что раствор был подан не полностью. Рекомендуется разобраться в причинах этого. В любом случае, излишки раствора следует удалить из системы перед подачей порции свежего раствора, что позволит обеспечить надлежащее качество раствора и исключить риск засорения трубопроводов из-за затвердевания раствора.

Нагнетание раствора в заобделочное пространство — это динамический процесс, параметры которого необходимо контролировать и систематически сопоставлять с проектными величинами. Процесс мониторинга и контроля нагнетания (в целях минимизации потенциальных рисков) включает в себя три основных компонента.

Контроль объема нагнетания: фактический объем поданного раствора сопоставляется с определенным теоретически объемом заобделочного пространства,

который рассчитывается на основе данных одной заходки.

Именно систематическая проверка объема нагнетания лежит в основе контроля проседания поверхности грунта. Теоретический объем раствора, который необходимо подать для заполнения пространства между профилем выработки и внешней поверхностью обделки (если проходческие инструменты не изношены), рассчитывается как разница между общей площадью выработки и сечением по внешнему диаметру обделки; он оценивается в зависимости от суммарной ширины колец обделки.

Водопроницаемость материала/грунта может повлиять на объем подаваемого раствора в сторону его увеличения. Значительное превышение объемов подаваемого раствора по сравнению с теоретической величиной может указывать на перебор грунта. В этом случае ситуацию следует проанализировать и выполнить соответствующие мероприятия, описанные в Протоколе проходки.

Контроль давления нагнетания: следует проверить, соответствует ли конечная величина давления проектной величине, которая зависит от давления в призабойной камере. Нагнетание за обделку всегда проводится одновременно с производством тоннелепроходческих работ и должно соответствовать величине, указанной в Протоколе проходки. Помимо минимальной и максимальной величин давления, для каждого отрезка трассы с однородными грунтами следует определять давление в забое и соотносить эти данные с положением форсунок для подачи раствора на щите. Если во время выполнения проходческих работ какая-либо из величин превышена, рекомендуется проверить качество поданного раствора, осмотрев керн из разведочной скважины.

Проверка характеристик раствора проектными величинами. Приведем список некоторых видов анализа, которые могут быть полезными для успешного применения раствора: кривая гранулометрического состава; анализ кубиковой прочности; анализ разделения на фракции; выделение цементного молока на поверхности; обрабатываемость состава; тест на всплытие; тест посредством вискозиметра.

Основные требования к тампонажному раствору: обеспечение сохранности геометрии кольца обделки после его сборки, прочность на первые сутки — не менее 0,5 МПа, сохранение подвижности на протяжении 8 часов, прочность тампонажного раствора в проектном возрасте В7,5. ■



Н. И. КУЛАГИН, В. А. МАСЛАК,  
К. П. БЕЗРОДНЫЙ,  
М. О. ЛЕБЕДЕВ  
(ОАО «НИПИИ  
«Ленметрогипротранс»)

## О ТРАНСПОРТНОМ ПЕРЕХОДЕ НА ОСТРОВ САХАЛИН

*The construction of transport passage from the mainland to Sakhalin Island under the Nevelski Strait is under consideration. The advantage of tunnel construction variant before the bridge variant is indicated for complicated geological engineering and natural climatic conditions.*

**Идея строительства постоянного перехода с материковой части России на остров Сахалин выдвигалась еще в конце XIX века, однако из-за экономической нецелесообразности и дефицита средств так и не была реализована. Страна вернулась к обсуждению проекта лишь в 50-х годах XX века, но воплотить планы снова не удалось. Идея возродилась в новом тысячелетии. На сегодняшний день ее реализацию приближает тот факт, что 2013 году Президент РФ В. В. Путин дал поручение разработать техническое задание на строительство транспортного сообщения между островом и материком. Обсуждаются различные варианты. Для сложных инженерно-геологических и природно-климатических условий этого района институтом «Ленметрогипротранс» обосновано преимущество строительства тоннеля под проливом Невельского по сравнению с мостом.**

**В**озвращаясь к истории проекта, уместно напомнить, что 5 мая 1950 года вышло постановление Совета Министров СССР №1795-702сс о строительстве железнодорожной линии Комсомольск-на-Амуре — о. Сахалин с тоннельным переходом через Татарский пролив в районе мыс Лазарев — мыс Погиби. В 1952 году началось строительство тоннеля. Работы были прекращены в 1953 году.

На территории Хабаровского края успели построить 120 км железнодорожного полотна широкой колеи вдоль правого берега Амура от станции Селехин до станции Черный

мыс, которую в дальнейшем использовали для вывоза древесины. Кроме того, на мысе Лазарев, откуда предполагалось прокладывать тоннель, был пройден ствол шахты, а в 1,6 км от берега создали искусственный остров диаметром 90 м.

В 2001 году Гипротранс ТЭИ ОАО «РЖД» подготовил обоснование инвестиций в строительство железнодорожной линии материк — остров Сахалин с тоннельным (мостовым) переходом через пролив Невельского и развития (модернизация) железнодорожной сети острова.



Наконец, в августе 2013 года Президентом РФ В. В. Путиным было дано поручение разработать техническое задание на строительство перехода, и уже в декабре консорциум, в состав которого вошли Институт экономики развития транспорта, Совет по изучению производительных сил и институт «Гипростроймост», представил главе государства соответствующие наработки.

Согласно проекту, общая протяженность новой железнодорожной линии Селихин — Ныш между материком и Сахалином по варианту перехода через пролив Невельского по створу «Средний» с мостом составляет 585,3 км, с тоннелем — 581,7 км. Стоимость строительства (в ценах 2013 года) — соответственно 386,6 и 387 млрд рублей, сроки — 7,5 и 9 лет. Стоимость разработки проектно-сметной документации — 18,2 млрд рублей.

В комплексном проекте железнодорожного соединения Сахалина с единой транспортной сетью страны (см. рис. 1) барьерным, наиболее сложным и дорогостоящим объектом является постоянный переход через Татарский пролив в наиболее его узком месте (пролив Невельского) в районе мыса Лазарев (материк) — мыс Погиби (о. Сахалин). Поэтому выбор вариантов технических решений и конструкций инженерных сооружений транспортного перехода имеет решающее значение при определении экономической оценки всего проекта в период строительства и эксплуатационной эффективности и надежности в последующем. На выбор огромное влияние оказывают сложные инженерно-геологические и природно-климатические условия района.

В инженерно-геологическом плане это мощный слой (до 300 м) донных осадочных отложений с низкой несущей способностью, а также высокая сейсмическая активность в районе строительства с вероятностью землетрясений до 9 баллов по шкале Рихтера. Для гидрологии пролива характерны периодические изменения направленности течений с переносом значительных масс донных отложений в прибрежных зонах. В осенне-зимний период частые штормовые явления создают неблагоприятную ледовую обстановку и обледенение судов, а также береговых инженерных конструкций. В зимнее время ветры могут достигать силы до 27–29, при порывах до 45–46 м/с. Толщина льда, примерзающего к гидротехническим сооружениям, по наблюдениям в соседних районах, соизмерима с толщиной местного припая (1,5–1,7 м).

Из возможных вариантов строительства искусственных сооружений, применимых в рассматриваемых условиях в различных



Рис. 1. Железнодорожная линия материк — о. Сахалин (Селихин — Ныш) с транспортным переходом через пролив Невельского

предпроектных проработках, выполненных в 50-60-е годы и затем с 90-х годов прошлого века по настоящее время, рассматривались:

- мостовые переходы различных конструкций;
- сплошная дамба или в сочетании с мостовым переходом;
- тоннельный вариант с проходкой ТПМК;
- тоннельный вариант мелкого заложения с использованием сборных железобетонных опускных секций.

У каждого из рассматриваемых вариантов есть преимущества и недостатки.

Мостовые переходы различных конструкций:

- наличие мощных донных отложений потребует возведения промежуточных русловых опор большой высоты (размещение оснований опор в донных осадочных отложениях и обеспечение подмостового габарита прохода судов до 70 м, с общей высотой опоры от ее основания до низа пролета — более 100 м);
- возможное воздействие ледовых нагрузок на опоры моста в разных направлениях неизбежно потребует создания равнопрочности опоры в направлениях

вдоль и поперек моста, аналогично плавучим буровым установкам;

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

■ высокая сейсмическая активность района строительства потребует дополнительного усиления всех конструкций мостового перехода, включая опоры и пролетные строения.

Вариант строительства дамбы даже с частичным мостовым пролетом был отклонен в свое время в связи с непредсказуемостью экологических последствий в целом для Татарского пролива и изменением гидрологии всей его акватории.

Тоннельный вариант с использованием ТПМК в 50-е годы был детально проработан в проектах и даже было положено начало его реализации, однако наличие слабых осадочных пород потребовало значительного заглубления тоннеля, но и при этом проходку



Рис. 2. Подготовка опускной секции тоннеля к транспортировке



Рис. 3. Транспортировка секции тоннеля к месту установки



Рис. 4. Схема стыковки секций тоннеля и его осушение

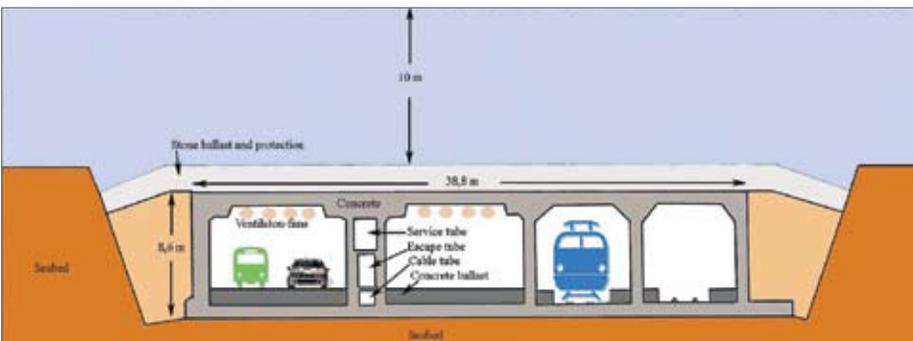


Рис. 5. Сечение тоннеля в эксплуатации

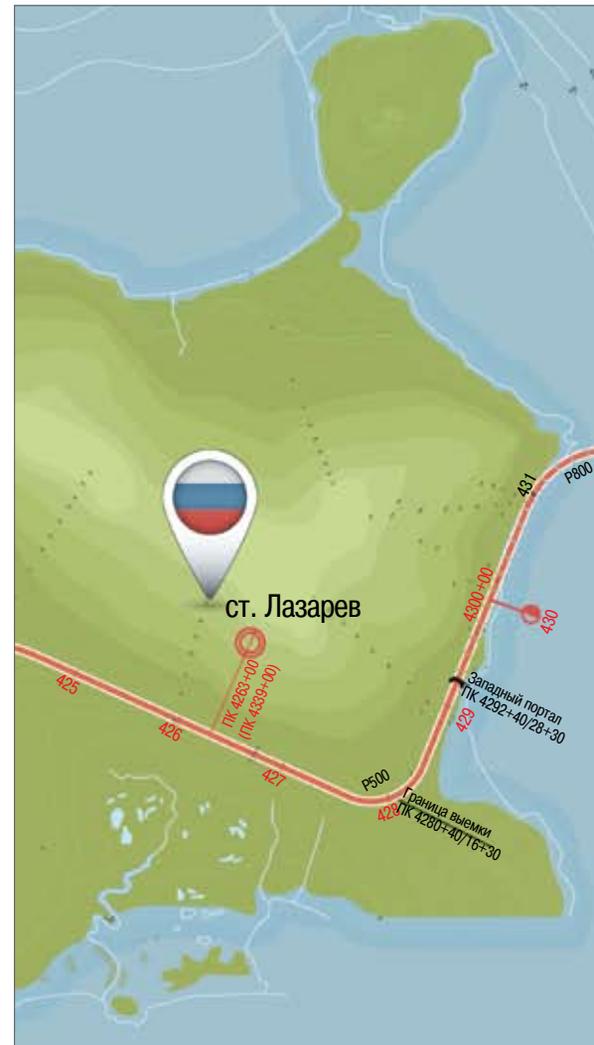


Рис. 6. Тоннельный вариант перехода через пролив Невельского

предполагалось осуществлять кессонным способом (под избыточным давлением, исключающим поступление морских и грунтовых вод). Этот вариант будет рассмотрен ниже.

Тоннельный вариант мелкого заложения с использованием сборных железобетонных опускных секций впервые в мире реализован еще в 1910 году под р. Детройт между США и Канадой для двухпутной железной дороги. Первый и последующие тоннели американские инженеры проектировали и строили в виде двойных стальных оболочек. Первый подобный объект в Европе сооружался с 1937 по 1942 гг. вблизи Роттердама (Нидерланды). Именно с него (рис. 2) началась новая эпоха строительства тоннелей из железобетона.

Этот вариант отличается высокая технологичность с изготовлением сборных железобетонных секций с массой до 55 тыс. т и следующими габаритными размерами: длина — 176 м, в поперечном сечении — 42 м. Большое сечение секции позволяет разместить все необходимые элементы перехода — автомобильную и железную до-



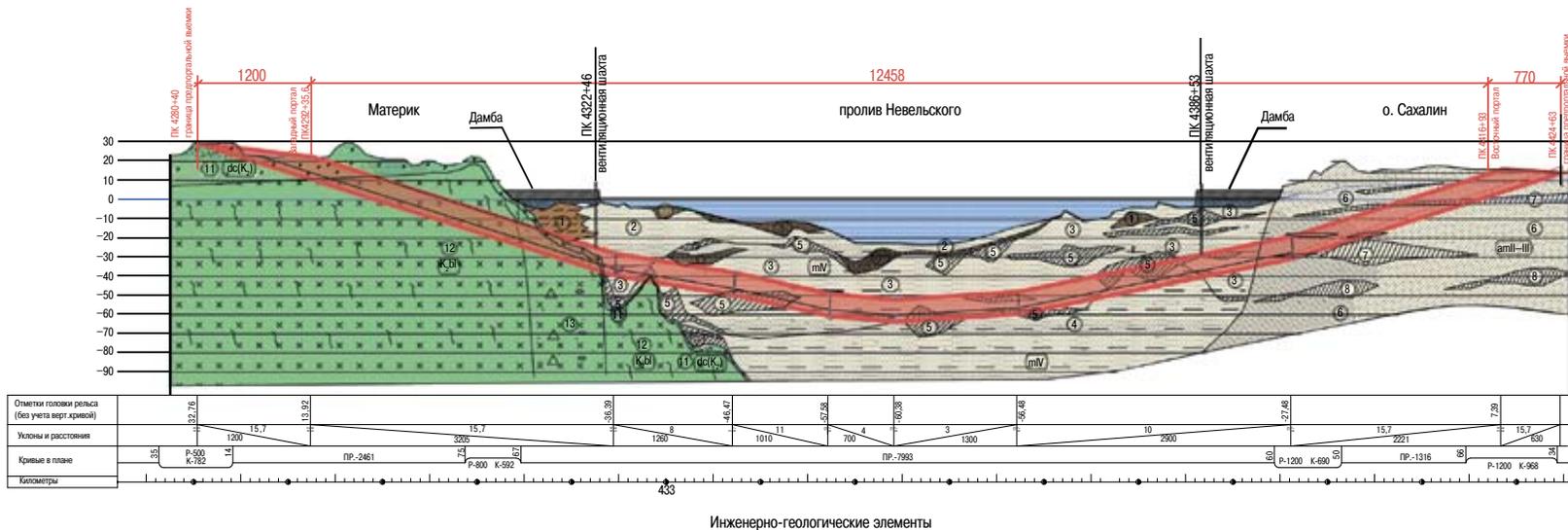


Рис. 7. Продольный профиль на геологическом разрезе

собственно к проливу Невельского, ограничен с севера мысом Лазарева, а с юга — мысом Муравьева.

Наиболее активны в сейсмотектоническом отношении зоны растяжений по окраине континента, в том числе район перехода через пролив Невельского.

Пересечь Татарский пролив предусматривается в наиболее узкой его части — проливе Невельского, при ширине морской поверхности 7,8 км и максимальной глубине 24 м (рис. 7).

Возможные варианты трассы тоннельного перехода были проработаны в 1950–2000 гг. при составлении технического проекта строительства линии Комсомольск — Победино:

- вариант «Северный» (мыс Лазарева — мыс Погиби) длиной 13 км;
- вариант «Средний» (мыс Средний — мыс Погиби) длиной 11,7 км;
- вариант «Южный» (мыс Муравьева — мыс Уанги) длиной 11,5 км.

Из трех вариантов трассы, как и в 1950–2000 гг., был принят к проработке «Средний». По нему имеются наиболее полные материалы инженерно-геологических изысканий, а

также отсыпанные в море грунтовые дамбы, которые позволяют несколько ускорить начало строительства.

В 1993 году Научно-технической ассоциацией ученых и специалистов транспортного строительства Академии транспорта РФ были выполнены проработки вариантов конструктивно-технологических решений.

Следует отметить, что два мыса пролива Невельского резко отличаются с геологической точки зрения. Западный материковый берег у полуострова Лазарев — возвышенный и сложен прочными коренными породами. Восточный берег пролива Невельского представляет собой обширное низменное пространство. Этот участок сложен аллювиальными отложениями четвертичного возраста — песками различной крупности с прослоями супесей и суглинков с включениями гравия, гальки и редких валунов и прослоями погребенного торфа. Суммарная мощность отложений составляет сотни метров.

Непосредственно зона самого пролива сложена морскими отложениями четвертичного возраста.

С целью определения наиболее эффективных конструктивных и технологических ре-

шений по сооружению тоннельного перехода непосредственно под проливом рассматривались следующие варианты:

- I: тоннель  $D_{\text{н}} = 9,5$  м и сервис-тоннель  $D_{\text{н}} = 5,5$  м со щитовой проходкой;
- II: тоннель  $D_{\text{н}} = 11,5$  м со щитовой проходкой;
- III: тоннель из опускных секций;
- IV: тоннельно-мостовой переход;
- V: комбинированный тоннель с обделками из опускных секций на береговых участках и кругового очертания в русловой части.

В 2007 году НИПИИ «Ленметрогипротранс» на стадии инвестиций в строительство выполнил два варианта сооружения тоннеля:

- опускные секции;
- ТПМК с пригрузом забоя.

Сооружение опускными секциями, в зависимости от створа, оценивалось приблизительно в 231,5–289,6 млрд рублей. Срок строительства — 5–6,5 лет. Сооружение с помощью ТПМК — 171,8–184,8 млрд, в зависимости от створа пересечения пролива. Срок строительства — около 9,5 лет.

Как наиболее эффективный был принят вариант тоннеля большого поперечного сечения со щитовой проходкой.

Подводный тоннель большого диаметра ( $D_{\text{вн}} = 11,5 \text{ м}$ ) разделен на два отсека (рис. 8). В транспортном отсеке предполагается движение поездов и размещен служебный проход. Двухэтажный технологическо-эвакуационный отсек отделен от транспортного внутренней стеной. Между отсеками устраиваются тамбур-шлюзы. В нижней части тоннеля предусмотрено устройство коммуникационного коллектора.

Обделка тоннеля — двухслойная, рассчитана на сейсмическое воздействие 9 баллов. Наружный слой — сборная железобетонная обделка кругового очертания, собирается из водонепроницаемых высокоточных блоков. По внутреннему контуру наружного слоя для исключения проникновения воды предусматривается замкнутая пленочная гидроизоляция. Внутренний слой обделки — монолитная железобетонная обойма.

Внутренний диаметр железобетонной обложки 9800 мм предусматривает размещение в его пределах габарита приближения строений «С» по ГОСТ 9238-83, водоотводящих лотков, сантехнического и электро-технического оборудования и коммуникаций, а также устройств сигнализации, связи и вентиляции.

Сооружение тоннеля предусматривается с использованием специальных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с активным пригрузом забоя. Встречная проходка ведется двумя комплексами на полное сечение с одновременным монтажом сборной железобетонной обделки со скоростью 350–400 м/мес. После встречи двух ТПМК под землей производится стыковка двух оболочек комплексов при помощи спецспособов (замораживание, цементация заобделочного пространства).

Для обеспечения проходки тоннеля на предварительно намывных дамбах длиной около 1 км на каждом берегу пролива сооружаются два ствола диаметром 5,5 м, глубиной до 40 м. Строительство, учитывая современное технологическое оборудование, составит 4,5–5 лет. Скорость движения по железнодорожному переходу составит до 120 км/ч.

Преимущества тоннельного варианта:

- значительная независимость эксплуатации от природно-климатических условий по сравнению с мостом;
- тоннели значительно безопаснее в эксплуатации;
- тоннели менее подвержены терроризму;
- стоимость эксплуатации транспортного перехода (как показывает опыт эксплуатации объектов-аналогов в Хабаровске) по тоннельному варианту ниже, подземные сооружения менее подвержены нарушениям

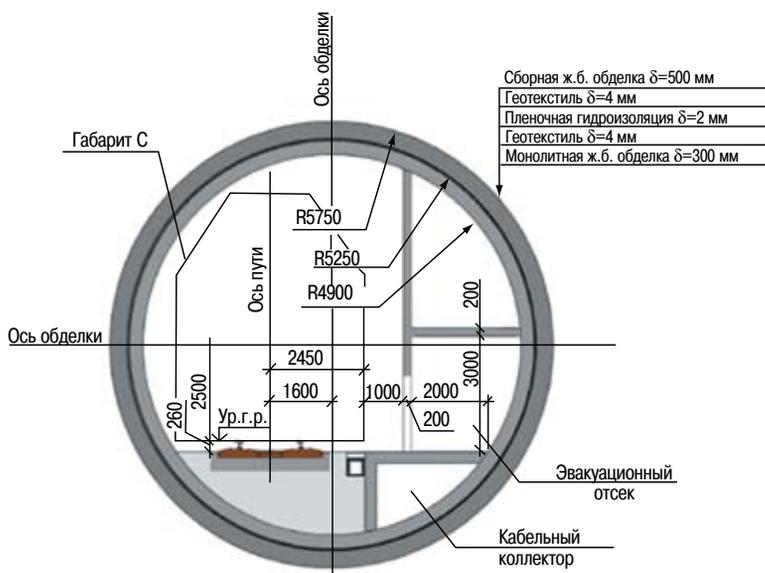


Рис. 8. Поперечное сечение железнодорожного тоннеля

при землетрясениях, чем наземные, в частности мосты.

Представляется очевидным, что в суровых природно-климатических и сложных инженерно-геологических условиях при высокой сейсмической опасности следует отдать предпочтение тоннелю, как наиболее надежному при эксплуатации объекту.

Данный вариант предусматривает перевозку грузового и легкового автотранспорта на специальных платформах и в вагонах, что облегчает при электрической тяге поездов режим вентиляции тоннеля, но требует организации на каждом из берегов перегрузочных станций. Подобная схема хорошо зарекомендовала себя при эксплуатации уже в течение более 24 лет Евротоннеля между Англией и Францией.

Прогресс в изготовлении и использовании тоннелепроходческих механизированных комплексов с пригрузом забоя в последние четверть века, при оценке различных вариантов сооружения перехода под Невельским проливом, позволяет с уверенностью утверждать о преимуществах тоннеля перед мостом.

По данным Института экономики и развития транспорта, реализация проекта так или иначе ускорит развитие Хабаровского края и Сахалинской области. Перевозки по линии Селихин — Ныш составят предположительно около 9 млн т в год, что само по себе относительно немного, и поэтому эксперты предлагают привлекать на трассу, выходящую на БАМ и Транссиб, транзит из Японии. Если же Сахалин будет соединен еще и с японским островом Хоккайдо (в качестве варианта

рассматривается также тоннель), возникнет трансконтинентальный коридор Япония — Россия — ЕС, что обеспечит дополнительный приток грузов и поможет скорее окупить проект. В данном случае ежегодные перевозки, по разным оценкам, могут возрасти до 33–40 млн т.

Острова Сахалин и Хоккайдо, имеющие железнодорожную сеть, разъединяет пролив Лаперуза. Длина его составляет 94 км, ширина в самой узкой части — 43 км. В соответствии с предварительными проработками ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», трасса тоннельного перехода намечена в створе мыс Крильон (Сахалин) — мыс Соя (Хоккайдо), с перспективой соединения с действующими железнодорожными ветками на Южно-Сахалинск (Россия) и Вакканай (Япония). Общая длина предполагаемого сооружения — 73,7 км, из них на Сахалине — 8,7 км, морская часть — 49 км, на Хоккайдо — 16 км.

Мировой опыт тоннелестроения показывает, что практически любая длина проектируемых тоннелей является технологически реализуемой. Так, протяженность тоннеля Сэйкан между островами Хонсю и Хоккайдо, открытого в 1988 году, составляет 54 км. Он стал самым длинным подводным железнодорожным тоннелем в мире и держит этот рекорд до сих пор. Тоннель между Англией и Францией длиной 51 км, из которых 39 км — под проливом Ла-Манш, также свидетельствует о высоком уровне развития науки и техники тоннелестроения и о возможности реализации еще более грандиозных проектов. ■



Л. Л. КАУФМАН, к. т. н.

*В Бостоне, столице американского штата Массачусетс, проживают около 700 тыс. человек, однако вместе с пригородами его население превышает 5,8 млн человек. Благодаря этому Бостонскую агломерацию включают в «топ-50» крупнейших мегаполисов, к тому же по объему ВВП ее ставят на шестое место в США и двенадцатое — в мире. Глобальное значение города очевидно. А с точки зрения подземной транспортной инфраструктуры Бостон знаменит тем, что здесь реализован проект, который многие специалисты считают крупнейшим и сложнейшим в истории тоннелестроения в городских условиях. Первая часть реконструкции дорожно-транспортного комплекса (Big Dig) была осуществлена в центре, а вторая обеспечила его связь с аэропортом Логан.*

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА БОСТОНА

### Общие сведения

С самого начала автомобильного века в Бостоне осознали, что городу необходима инфраструктура, способная справиться с постоянно возрастающими транспортными потоками. Отвечая на эти вызовы, в течение нескольких десятилетий была построена серия скоростных магистралей, в частности 1-90 и 1-93, тоннели Самнер и Каллахан под Бостонской бухтой. Наиболее важной дорогой стала 6-полосная Центральная артерия, построенная в 1950-х гг. Эту поднятую над поверхностью земли магистраль в сердце деловой части Бостона называют «трассой в небе».

Однако Центральная артерия заняла пространство в центре города, обезобразив, по мнению многих жителей, его исторические районы, и к тому же быстро перестала справляться с возрастающей транспортной нагрузкой. При этом темп роста дорожно-транспортных происшествий вчетверо превышал средний по стране для городских магистралей. Аналогичная ситуация наблюдалась и по двум тоннелям под Бостонской бухтой между деловым центром Бостона и аэропортом Логан.

Для решения всех проблем был разработан проект «Центральная артерия/Тоннель» (ЦА/Т), который на сегодняшний

день считается крупнейшим и сложнейшим в истории дорожно-мостового и тоннельного строительства (рис. 1) в городских условиях. Он известен так же как Big Dig, Большой бостонский тоннель.

Проект состоял из двух главных частей. Первая: поднятая над поверхностью 6-полосная трасса заменяется 8–10-полосной подземной, расположенной непосредственно под существующей дорогой, переходя к северной оконечности в 14-полосную и к пересечению р. Чарльз двумя мостами. Существующая наземная трасса ликвидируется и заменяется благоустроенным открытым пространством. В эту часть проекта входят тоннель под Южной станцией, объединяющей крупнейший железнодорожный вокзал и междугородный автобусный терминал, подземный мост под Красной линией Бостонского метрополитена, тоннель под Центральной артерией, мосты через р. Чарльз.

Вторая: расширяются магистральная дорога 1-90 на участке между центром города и аэропортом Логан и отрезок (около 13 км) примыкающей к ней дороги 1-93. В эту часть проекта входят 4-полосный тоннель имени Тэда Вильямса под Бостонской бухтой и тоннель под каналом Форт-Пойнт.

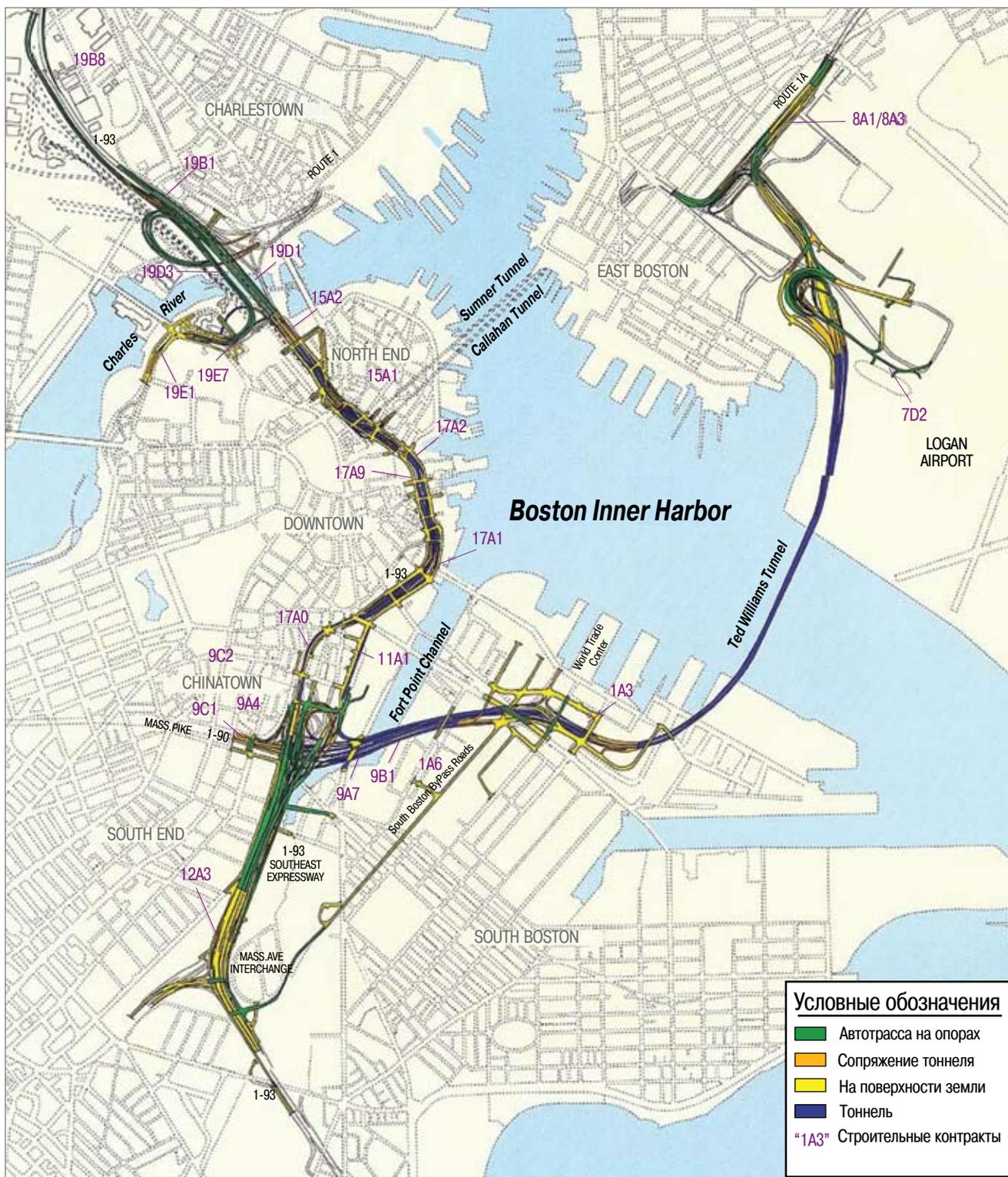


Рис. 1. Основные комплексы проекта «Центральная артерия/Тоннель» (<https://sites.psu.edu>)

### Градостроительные и геологические условия

Уникальность проекта «ЦА/Т» заключается в том, что он был реализован в центре города. Работы такого размаха и продолжительности никогда ранее не предпринимались в сердце городской застройки. Поэтому из

общей стоимости проекта \$15 млрд около 5 млрд, то есть треть затрат, потребовалось на поддержание и сохранение в период строительства нормальной деятельности городского хозяйства.

Проект предусматривал создание дополнительных открытых пространств, создание парков внутри и вне делового центра

Бостона, а также уменьшение содержания угарного газа в воздухе на 12% (рис. 2, 3). Попутно реконструировалась подземная сеть коммуникаций, сложившаяся за 300 лет, — водопроводных, канализационных, газовых труб, линий электрических, телефонных, кабельных, телевизионных, а также пожарной сигнализации. Все это



Рис. 2. Центральная артерия до реконструкции  
(<http://joshuascott.com>)



Рис. 3. Центральная артерия после реконструкции  
(<http://joshuascott.com>)

должно было производиться без нарушения функционирования предприятий и организаций, находящихся в зоне проведения работ.

Строительство началось в 1993 году, завершилось в 2005 году. В целом в реализации проекта участвовало около 400 фирм. Одновременное количество инженеров и рабочих, занятых на объекте в наиболее загруженные 1999–2002 гг., доходило до 5 тыс. человек.

Чтобы тоннели расположились в устойчивой скальной породе, их основная глубина должна была составлять 26–37 м. Это требовало пересечения четырех типов почвы: наносов (большинство зданий делового центра Бостона построены на старой свалке), органики, включающей ил, песок и торф, так называемой Бостонской голубой глины, принесенной водами таящего ледника, и дна этого ледника, состоящего из булыжников, песка, гравия, ила.

Проблемой являлся высокий уровень грунтовых вод, близкий к почти 4,5 м, что грозило затоплениями при строительстве. Поэтому за год до начала работ была произведена их предварительная откачка.

### Тоннель под Южной станцией

Как уже говорилось, приподнятую над землей часть Центральной артерии заменили тоннелем, который прошел под действующими железнодорожными путями Южной станции. Для того чтобы не прерывать ее работы, была выбрана технология проходки способом продавливания домкратами. Она обычно используется для прокладки коммуникационных линий под автомобильными дорогами и железнодорожными путями.

Продавливание транспортных тоннелей ранее никогда таким способом не производилось.

Участок строительства состоял из очень слабых грунтов, образовавшихся за 200 лет неконтролируемой свалки и содержащих археологические артефакты, которые требовалось сохранить. Трассы пересекали русла водотоков и действующие железнодорожные пути.

В этих случаях традиционные методы тоннелестроения (например, «открытый с поверхности», cut and cover), были неприемлемы.

Тоннельный комплекс состоял из трех отдельных участков строительства (длиной 51, 79 и 116 м). Проходка велась из трех стартовых колодцев шириной 24 м и глубиной 12 м, закрепленных бетоном. Два из этих участка шли по главному направлению автомагистрали 1-90, третий — по ее ответвлению к 1-93.

Внутри каждого колодца была сформирована головная бетонная секция, которая первой продавливалась гидравлическими домкратами под железнодорожными путями. За ней следовали другие секции, которые постепенно наращивали общую длину участка. Тоннель длиной 51 м состоит из двух предварительно изготовленных железобетонных секций, тоннели длиной 79 и 116 м — из трех секций каждый. В свою очередь, длина секций — от 20 до 50 м, высота — 11,5 м, ширина — 24 м, толщина стен — до 1,8 м, толщина плит в полу и перекрытия — 2 м. Слой почвы от их бетонного перекрытия до существующих рельсовых путей имел толщину от 2,4 до 9 м. При этом операции по продвижению секций были опасны из-за неустойчивости пород, в которых располагался тоннель. Поэтому

потребовались специальные мероприятия по упрочнению методом их замораживания охлаждающим раствором с температурой замерзания  $-35^{\circ}\text{C}$  через скважины длиной более 15 м.

Заморозка длилась 3–4 месяца, после чего продолжались проходческие операции с выемкой грунта комбайнами со стреловидным рабочим органом.

Использовались также периодически удлиняемые (сматываемые с катушек) канаты со специальной смазкой. Они уменьшали трение между конструкциями тоннеля и грунтами и соответствующие разрушения породы. Это позволило проталкивать тоннельную секцию с массой около 20 тыс. т пятьюдесятью домкратами (рис. 4).

### Подземный мост под Красной линией

Под перекрестком Атлантик-авеню и Саммер-стрит и под Красной линией метро была проложена подземная часть 4-полосной магистрали 1-93. Это оказалось единственным возможным местом. Здесь достигалась самая большая глубина всего проекта — 37 м. В этом же месте прокладывалась новая автобусная магистраль к Южному Бостону.

Согласно предложенному решению, вначале были пройдены две вертикальные шахты глубиной около 37 м и две горизонтальных штольни длиной по 30 м с расстоянием между парами «шахта — штольня» около 21 м.

В почву этих штолен бурились скважины и закачивался раствор, укрепляющий грунты. Это укрепление позволило из каждой вертикальной шахты прямо под первыми штоль-

нями соорудить еще по три штольни. Таким образом, из восьми (2×4) штолен были образованы две стены тоннеля Центральной артерии. Дополнительные горизонтальные штольни образовали его кровлю, над которой размещалась действующая Красная линия метро, надежно охраняемая построенными железобетонными сооружениями (рис. 5).

## Тоннель под Центральной артерией

Для того чтобы реконструировать физически и морально устаревшую надземную часть Центральной артерии, не останавливая движения, было решено построить под ней открытым способом с поверхности тоннель с использованием метода «стена в грунте». Сначала прокладывались траншеи вдоль трассы будущего подземного сооружения с глубиной до скального основания. Затем они заполнялись железобетоном, чтобы создать таким образом надежное ограждение стен тоннеля. Еще одна подобная стена сооружалась в его центре для удержания большого пролета. При общей длине тоннеля около 2,6 км длина трех подпорных стен в целом составляет около 8 км (рис. 6, 7).

Без прекращения работы действующей наземной автотрассы ее основная весовая нагрузка была перенесена с существующих 86 опор на три построенные подпорные стены. Для этого установили новые стальные конструкции общим весом 33 тыс. т. Инженеры говорили, что такие работы были подобны «проведению операции на открытом сердце в то время, когда пациент играет в теннис».

## Мосты через реку Чарльз

Продолжением Центральной артерии служил мост через р. Чарльз, связывающий деловой центр Бостона с районом Чарльзтаун. Однако к началу реализации проекта реконструкции транспортной системы он уже был перегружен трафиком и огромным количеством кабельных коммуникаций. Поэтому через р. Чарльз было построено два новых моста. Первый — самый широкий в мире, обеспечивающий 10-полосное движение автомобилей и размещение кабелей, подвешенный на канатах и ассиметричный в дизайне, второй — параллельный первому, 4-полосный. Такое решение позволило удвоить пропускную способность транспортного перехода через р. Чарльз.

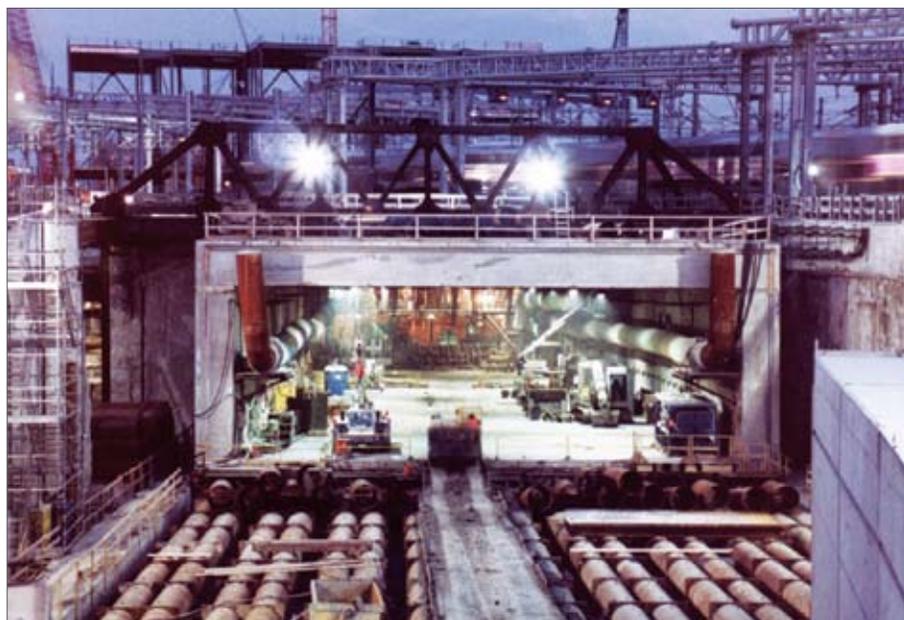


Рис. 4. Домкратное продавливание секции тоннеля Форт Пойнт (<https://www.baminternational.com>)

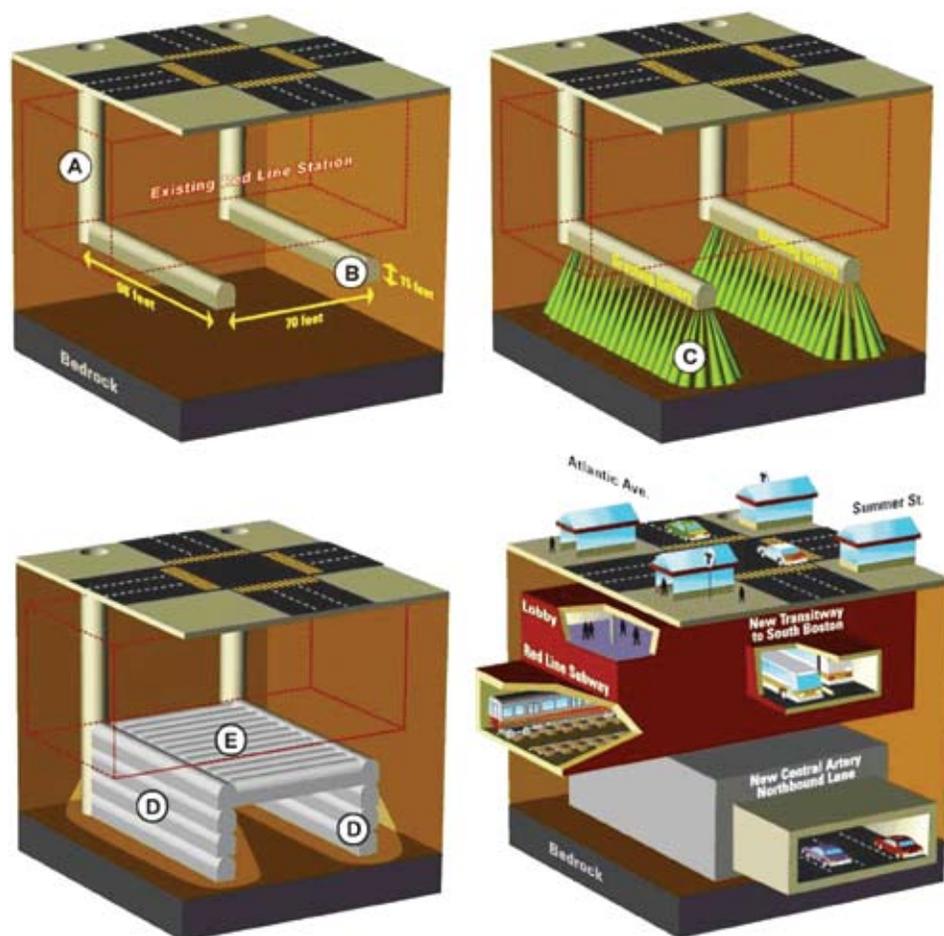


Рис. 5. Стадии строительства тоннелей на станции Южный Бостон (<https://www.engineering.com>)

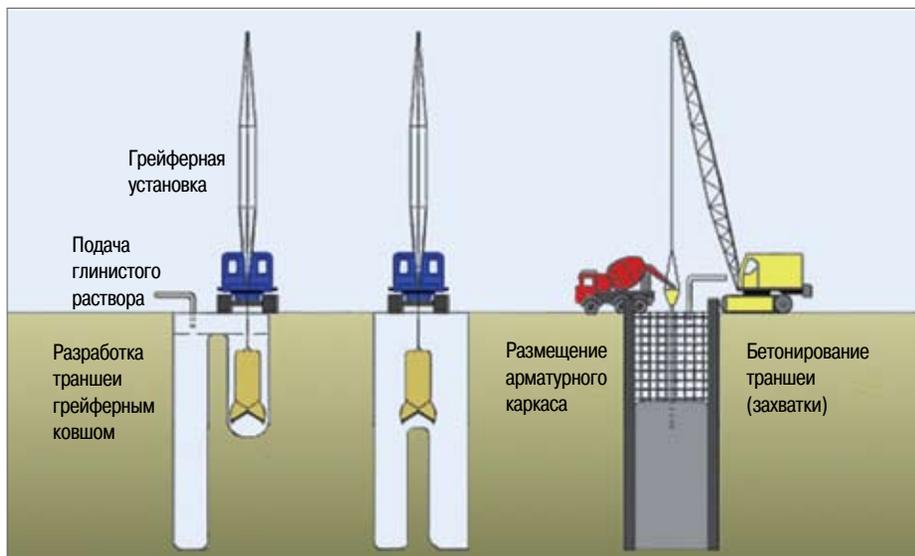


Рис. 6. Схема строительства методом «стена в грунте» (<https://www.beststroy.biz>)

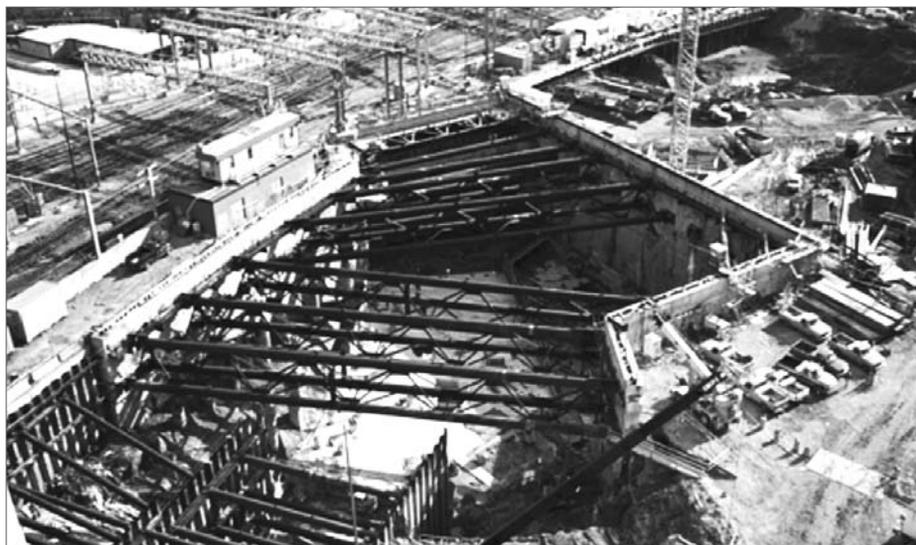


Рис. 7. Строительство тоннеля открытым способом «стена в грунте» (<http://scholarsmine.mst.edu>)

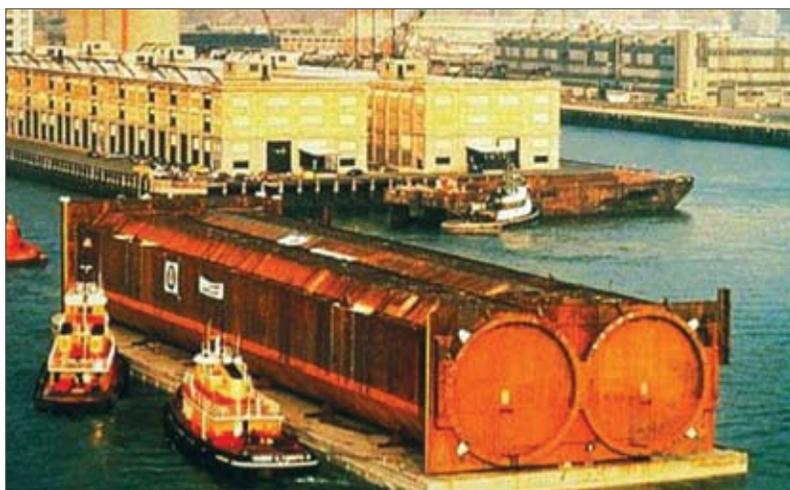


Рис. 8. Транспортировка секций тоннеля Тэда Вильямса (<https://www.slideshare.net>)

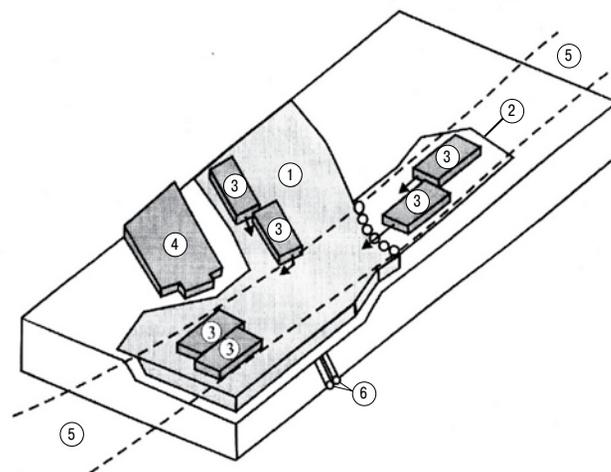


Рис. 9. Схема последовательности буксировки и затопления секций (<https://www.mass.gov>): 1 — канал Форт-Пойнт; 2 — док; 3 — бетонные секции тоннеля; 4 — здание почты; 5 — будущая автомагистраль; 6 — существующая Красная линия метро

Проектирование главного моста заняло несколько лет. Из 30 разных схем был выбран вариант, ставший архитектурным символом Бостона. Длина основного моста — 450 м, высота его мачт — по 82 м, вес сооружения — 100 тыс. т. Главный пролет имеет длину 230 м и ширину 56 м. Пролеты параллельного моста длиной 253 м, состоящие из 9 металлических коробчатых секций, транспортировались баржами. Длина главного пролета составила 116 м, крайних пролетов — по 69 м, ширина перехода — 23 м.

### Тоннель Тэда Вильямса

Первым завершённым этапом второй части проекта «ЦА/Т» — модернизации транспортной связи центра города с аэропортом Логан — был тоннель Тэда Вильямса (назван в честь знаменитого бейсболиста) под Бостонской бухтой.

Открытый в декабре 1995 года, он стал пропускать удвоенный поток транспорта. Тоннель длиной 2,6 км имеет подводную часть 1,2 км. Он построен с использованием 12 стальных трубчатых цилиндрических секций, которые были погружены в траншею на дне Бостонской бухты. Траншея имела длину 1,2 км, ширину 30 м и глубину 15 м. Секции изготавливались диаметром 12 м, достаточным для двухрядного потока движения, и длиной 99 м. Они заранее соединялись попарно и герметизировались с обоих концов стальными плитами. После заполнения металлоконструкциями и бетоном, формирующими стены, путевое покрытие и кровлю будущего тоннеля, вес секции достигал 33 тыс. т.

Секции изготавливались в Балтиморе (штат Мэриленд) в сухом доке, огражденном от моря плотинами. Затем док заполнялся водой, и секции транспортировались морем (рис. 8).

После подготовительных работ секции были опущены в траншею и соединены, что потребовало весьма точной работы. Опускание производилось мостовым краном с баржи. Водолазы, занимающиеся в Бостонской бухте монтажом секций, даже при хороших условиях имели видимость не более 0,3 м. В их костюмы закачивалась горячая вода, так что они могли работать на дне достаточно долго. У водолазов были радиопередатчики, позволяющие им поддерживать контакт с монтажной баржей.

Установка тоннельных секций обеспечивалась лазерным наведением. Каждая располагалась с точностью до 1 см на гравийной подушке траншеи, прорытой по дну бухты.

## Тоннель под каналом Форт-Пойнт

Канал Форт-Пойнт — ответвление Бостонской бухты. Пересекая его, магистраль 1-90 подключается к тоннелю Тэда Вильямса, ведущему в аэропорт Логан. Для пересечения канала было решено также соорудить погружной тоннель. Однако баржи с аналогичными громоздкими металлическими секциями от завода-изготовителя здесь не прошли бы из-за недостаточных габаритов пролетов мостов. Поэтому решили применить железобетонные секции, которые можно изготовить на месте, вблизи будущего тоннеля.

С этой целью соорудили примыкающий одной стороной к каналу Форт-Пойнт специальный бассейн, подобный сухому доку в судостроении. Его размеры (длина 300 м, ширина 90 м и глубина 18 м) являлись достаточными, чтобы разместить авианосец или три «Титаника», поставленных бок о бок (рис. 9). Сторона бассейна, примыкающая к каналу, была изолирована от воды серией полых цилиндрических металлических емкостей, заполненных дробленным камнем, образующих плотину длиной более 180 м. Дно поддерживалось сухим (рис. 10), для чего дренажной системой постоянно откачивалось около 23 м<sup>3</sup>/ч просачивающейся морской и грунтовой воды.

В этом искусственном бассейне было сооружено шесть бетонных секций коробчатой формы. Самая большая из них имела длину более 125 м, ширину — 53 м, вес — 50 тыс. т. Высота каждой превышала 8 м.

Транспортировка секций с места изготовления к месту установки производилась после заполнения бассейна водой из канала Форт-Пойнт. Для этого удалялись металлические емкости, образующие плотину, которая отделяла бассейн от канала. Всплывшие бетонные секции были отбуксированы баржами к месту погружения в траншею.

Поскольку всего в 6–7 м ниже дна канала проходила Красная линия метро, потребовалось укрепить почву дна, как обнаружилось, более слабую и неустойчивую, чем предполагалось до начала работ. Были пробурены 110 скважин глубиной 45–55 м и диаметром 1,8 м по обе стороны тоннеля метрополитена. Затем в скважины нагнетался цемент, в результате чего создавалась искусственная почва, в 300 раз более проч-

ная, чем природная. Бетонные тоннельные секции покоились на этих скважинах, как на ногах, торчащих из дна канала.

После всех подготовительных работ секции были установлены в донную траншею (рис. 11). Они оборудовались антеннами, передатчиками и восемью навигационными системами, связанными с 21 спутником. Четыре такие системы находились в постоянной связи с исполнителями. Положение секций и места их установки определялись каждую секунду с точностью до 0,6 см в горизонтальной и 1,8 см в вертикальной плоскости.

Тоннель, построенный под каналом Форт-Пойнт, имеет длину 335 м и ширину, достаточную для размещения 11 полос движения. Реализация проекта стоила более 1,5 млрд долларов, строительство оказалось наиболее дорогим в США в пересчете на 1 км.

Одной из главных технических сложностей стало прохождение подземной трассы под Русской гаванью. (Это комплекс из трех зданий, историческое название которого связано с тем, что в XIX веке в Бостон приходили торговые корабли из России). Расстояние между фундаментами домов и кровлей тоннеля было очень небольшим. Здания установлены на группах деревянных свай, которые поддерживают гранитные блоки и колонны. Экскавация тоннеля к тому же проводилась через очень слабые отложения наносов и пластичных голубых глин. На время этих работ сваи удалялись, а грунты замораживались. В дальнейшем устанавливались новые сваи, а грунты усиливались набрызг-бетоном, создавая вместе со сваями постоянную поддерживающую систему (рис. 12).



Рис. 10. Бетонные секции тоннеля в сухом доке (<http://www.jennyeng.com>)

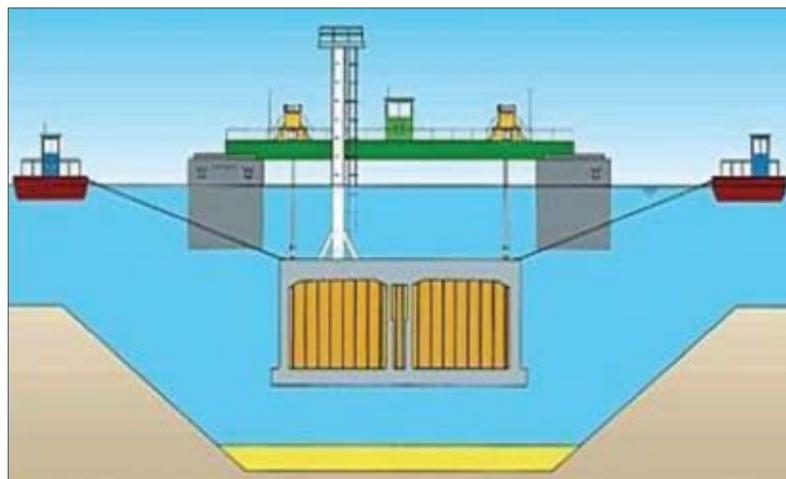


Рис. 11. Погружение бетонных тоннельных секций в траншею (<https://www.slideshare.net>)

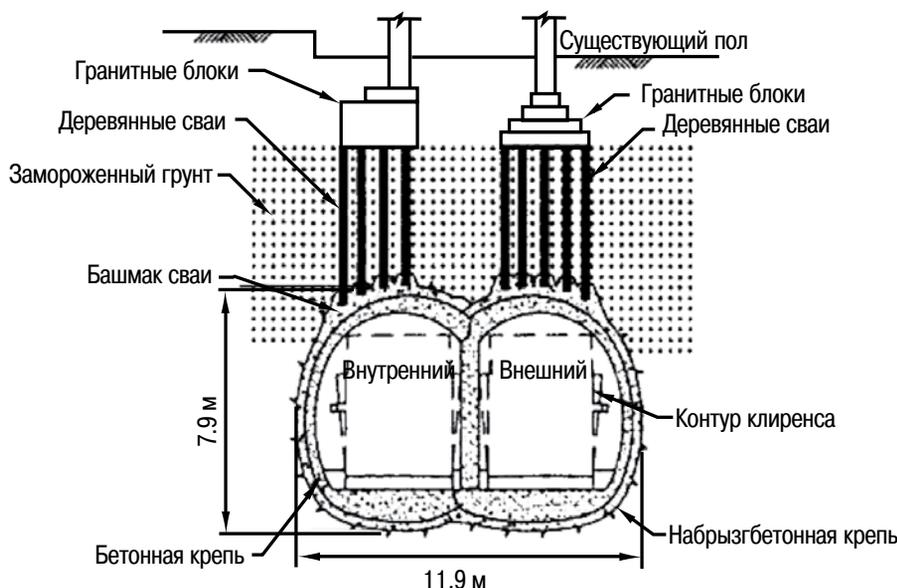


Рис. 12. Строительство автомобильного тоннеля под зданиями Русской гавани (<https://books.google.com>)

### Взаимоотношения с общественностью и экология

По сложившейся в Америке практике проекты такого масштаба, как «ЦА/Т», особенно реализуемые в условиях сложившейся городской застройки, всегда становятся объектом пристального внимания общественности.

Было несколько основных вопросов, которые возникли в ходе проектирования и строительства этого сложного многоэлементного комплекса и требовали согласования принимаемых решений с общественностью.

Первое — транспортные потоки. Перед началом строительства многие жители были озабочены тем, что появление новой магистрали в Бостоне, и без того перегруженном автотранспортом, в итоге может привести только к дополнительным заторам и пробкам. Однако раннее открытие тоннеля Тэда Вильямса под Бостонской бухтой привело к сокращению транспортной нагрузки более чем на 50%, что убедило всех скептиков.

Второе — отработываемый грунт. Он при экскаваторных работах удалялся экономично и с учетом требований охраны окружающей среды. С мэрией Бостона было достигнуто соглашение об его использовании для превращения территории свалки на острове Зрелищ в Бостонской бухте в публичный парк, устранив при этом стоки токсичных веществ. Предварительно там была сооружена дренажная система для перехвата и очистки стоков. Около 2,3 млн м<sup>3</sup> бостонской голубой глины, извлеченной при проходке тоннеля Тэда Вильямса, также

отвезли в другие города и поселки штата, чтобы укрыть свалки, исчерпавшие свои возможности. Дополнительно более 700 тыс. м<sup>3</sup> такой глины передано для нужд инженерных служб армии.

Следующий вопрос — существующая застройка. Фундаменты зданий и сооружений вдоль линии строительства в деловом центре Бостона были засняты на видеопленку, чтобы застраховать имущество владельцев недвижимости от возможного ущерба. Команда экспертов констатировала также состояние лестничных клеток, оконных рам и т. п., регистрируя то, что уже повреждено или может быть повреждено. В зоне строительства и прилегающих районах установили более 25 тыс. устройств, наблюдающих за сдвижением земной поверхности, вибрациями и состоянием строений. Сейсмографы, механико-струнные приборы, индикаторы вертикальных отклонений, электрооптические датчики были расположены на почве, тротуарах, внутри зданий и сооружений, существующих и строящихся.

Еще один момент — шум. Жалобы на него снизились вполтину после организации ночного «шумового патруля». К тому же, как результат регулярных встреч с общественностью, была разработана детальная противозащитная политика, отвечающая озабоченности населения.

Наконец, стоял вопрос об экологии Бостонской бухты. При земляных работах здесь возникла необходимость удалить верхний слой дна: 1,5 м грязи, жира и тяжелых металлов были результатом веков

судоходства. Этот слой осторожно удалялся, поскольку общественность полагала, что он высокотоксичен, хотя, как выяснилось, он был не более вреден, чем почва под тротуарами. Тем не менее, «черный майонез», как называют такой грунт специалисты, был извлечен, обработан известью, упакован в двойные пластиковые оболочки и складирован на острове в бухте. Только после этого началась работа по сооружению подводной траншеи для установки секций будущего тоннеля.

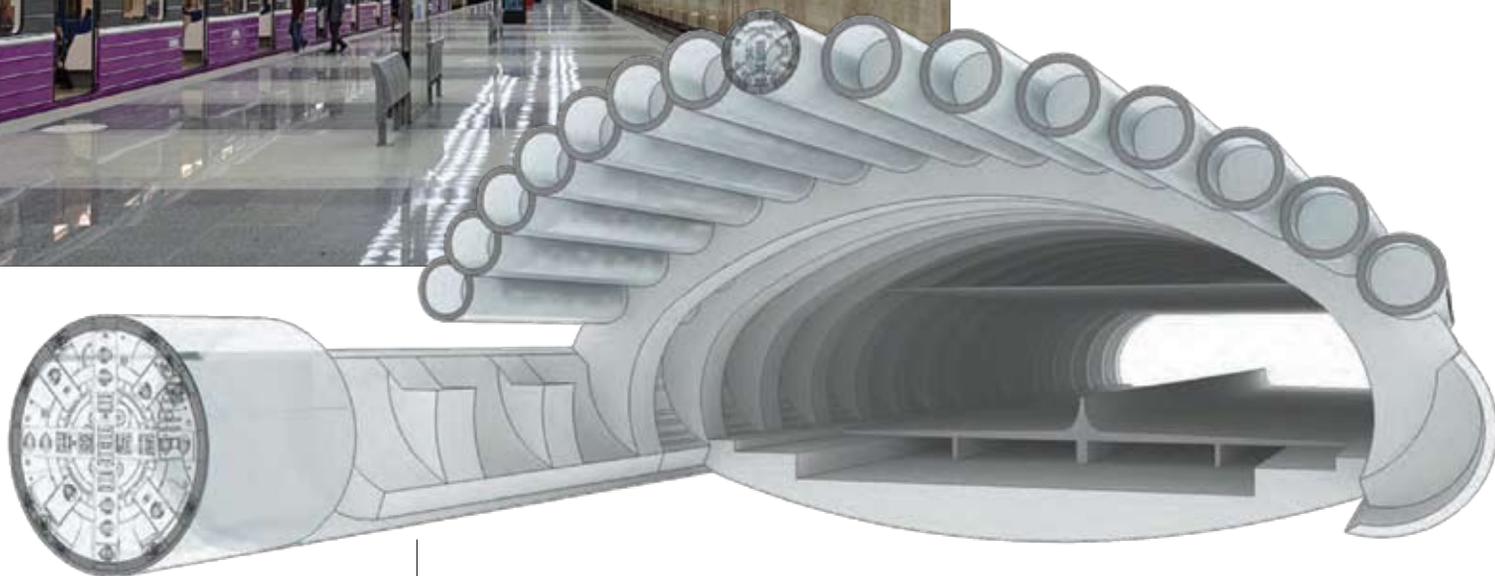
При прокладке траншеи использовался взрывной метод. Поэтому одной из задач охраны окружающей среды было изменить пути миграции сельди, которыми рыба из океана двигалась через Бостонскую бухту к пресной воде, где метала икру, а затем рыба молодь возвращалась в океан. Использовались электронные сканеры, обнаруживающие косяки сельди, и восемь шумоизлучателей, которые издавали пульсирующий звук с частотой 200 кГц, чтобы отпугнуть рыбу от района взрывных работ. Дополнительно к этим мерам во время ее миграции было разрешено производить не более трех взрывов в день.

В Бостонской бухте также создали искусственную систему рифов для поддержания популяций голубых мидий, других моллюсков, крабов, омаров. Рифовые структуры привлекали их в качестве обиталища, богатого водорослями и другими пищевыми ресурсами.

Ведущим принципом участия групп общественности в проектировании и реализации проекта «ЦА/Т» было сделать город лучше, чем он был раньше.

### Награды за технические достижения

Инновации и технические решения проекта были отмечены несколькими наградами. В частности, в 2002 году получены призы Британской Строительной Индустрии за технологию домкратного проталкивания тоннеля, Американского общества гражданского строительства за технические инновации. В 2004 году — награды Американского общества гражданского строительства за подвесной мост через р. Чарльз, Общества управления риском и страхованием за систему электронного отслеживания персонала при его аварийной эвакуации из тоннеля. В этом же году команда, занятая домкратным проталкиванием, получила престижную награду NOVA Строительного инновационного форума, которая в строительстве имеет такую же ценность, как премия «Оскар» в кино. ■



Р. Л. ГУЧЕК, инженер;  
А. П. МИХАЙЛОВ,  
ведущий инженер  
(ОАО «Минскметропроект»)

**В последние годы в практике подземного строительства наметилась тенденция использования в качестве опережающей крепи системы вспомогательных тоннельных выработок, пройденных по контуру будущего сооружения и заполненных бетоном или железобетоном. Такая крепь может входить в состав постоянной несущей конструкции и воспринимать давление грунта на стадии как строительства объекта, так и эксплуатации. Подобное решение, в частности, было разработано инженерами ОАО «Минскметропроект» для Бакинского метрополитена.**

## «ПРИНЦИП ЛУНАРДИ» В БАКИНСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ

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

С применением этой технологии в метрополитене Милане в 1990 году возведена односводчатая станция «Венеция», запроектированная итальянским инженером Пьетро Лунарди. Длина платформы — 216 м, ширина — 28,2 м. Станция расположена под застроенной территорией, на глубине 3,9 м от поверхности земли в несвязных, слабоустойчивых грунтах (илы, пески и гравий).

Строительство подземного сооружения полузакрытым способом начинается с проходки опорных тоннелей механизированными тоннелепроходческими комплек-

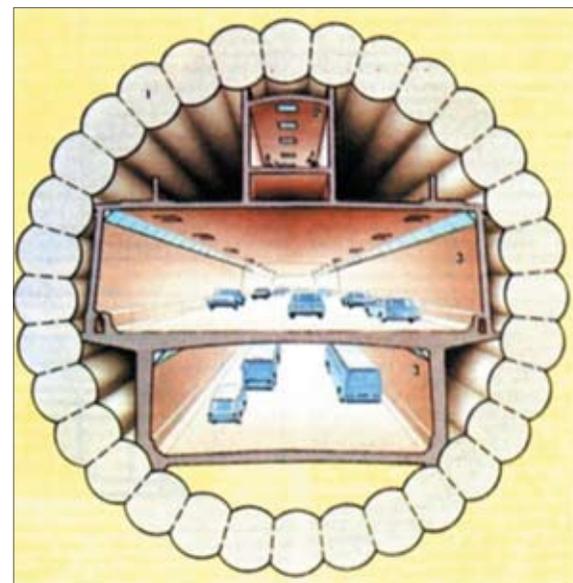


Рис. 1. Схема автодорожного тоннеля, США

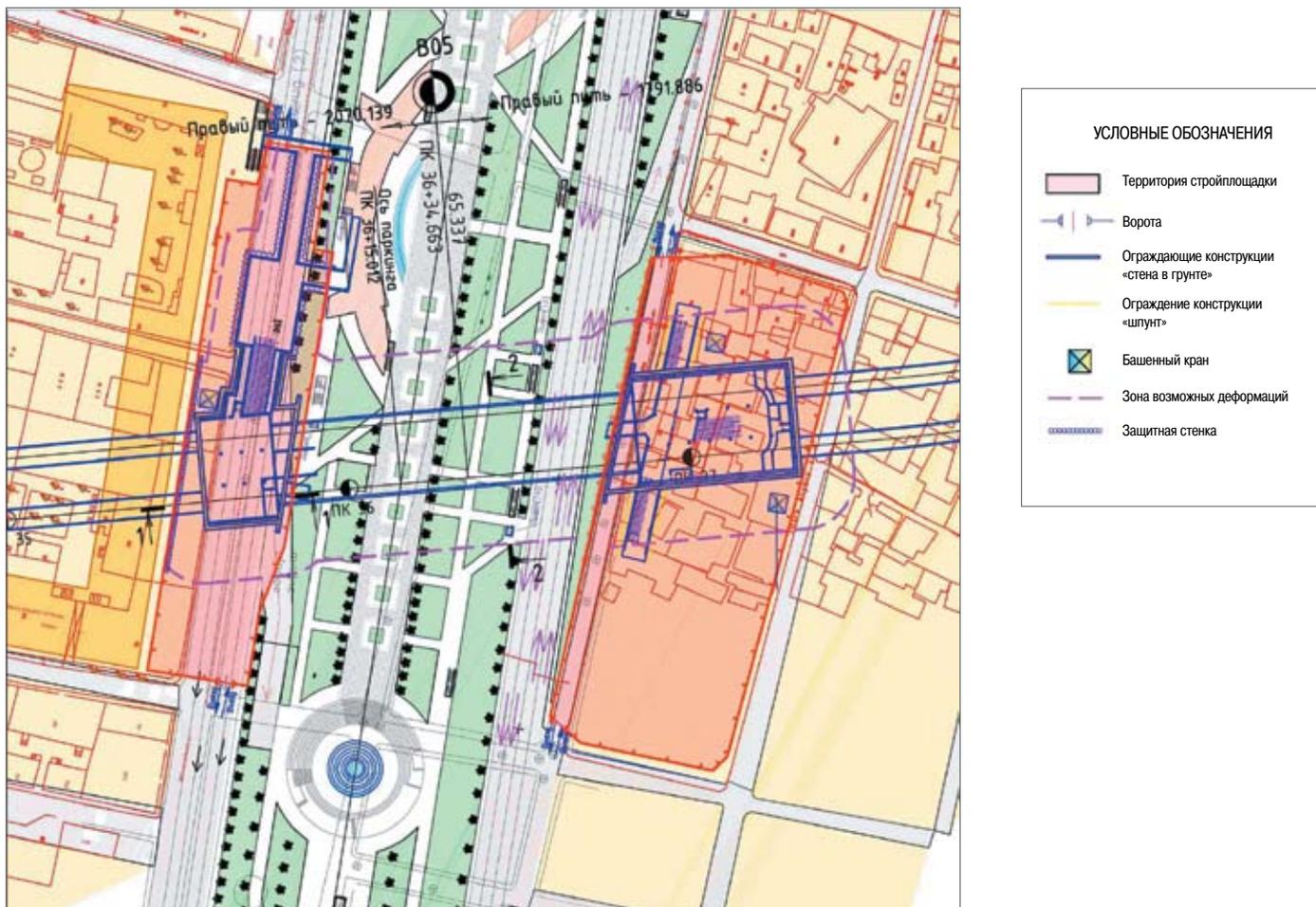


Рис. 2. Вариант конструктива и объемно-планировочных решений станции Бакинского метрополитена, предложенный ОАО «Минскметропроект»

сами с последующим демонтажем части тоннельной обделки. ТПМК с оси перегонного тоннеля переходит на ось опорного тоннеля в предварительно сооруженном котловане (вестибюля). В котловане второго вестибюля проходческий комплекс возвращается на ось перегонного тоннеля, и осуществляется комплекс работ для обеспечения дальнейшей проходки перегонного тоннеля и одновременного строительства станции.

По принципу Пьетро Луарди инженерами ОАО «Минскметропроект» (ММП) был разработан проект станционного комплекса В05 четвертой (фиолетовой) линии Бакинского метрополитена. В районе расположения станции находились действующий трехуровневый подземный паркинг и жилое здание недавней постройки, полный или частичный демонтаж которых не представлялись целесообразными. Исходя из этого и был предложен вариант конструктива и объемно-планировочных решений (рис. 2).

Изучив градостроительную ситуацию, инженерно-геологические и технологические условия строительства, ОАО «ММП» определило оптимальную поэтапность про-

изводства работ.

На первом этапе (рис. 3) осуществлена инженерная подготовка территории, выполнены (при необходимости) мероприятия по закреплению грунтов и устройству противофильтрационных завес. Разработан и подготовлен котлован, в котором должна осуществляться смена оси проходки тоннелей ТПМК, и подготовлены упоры для устройства труб защитного экрана методом микротоннелирования. Далее механизированными тоннелепроходческими комплексами выполняется проходка вспомогательных тоннелей для последующего устройства в них устоев свода станционного комплекса. Кроме того, стартуют работы по устройству труб защитного экрана методом микротоннелирования.

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

тоннельной обделки и проходку штолен.

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

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

Далее приступают к возведению внутренних конструкций станции. Таким образом, полузакрытый способ строительства с применением защитного экрана из труб, устраиваемого методом микротоннелирования, позволяет достичь нескольких целей:

- исчезает необходимость длительного нарушения или полного прекращения движения наземного транспорта;
- для реализации данного метода необходимо два сравнительно небольших котлована (~30×30 м) до и после станционного комплекса, расположение которых можно регулировать объемно-планировочными решениями, что позволяет

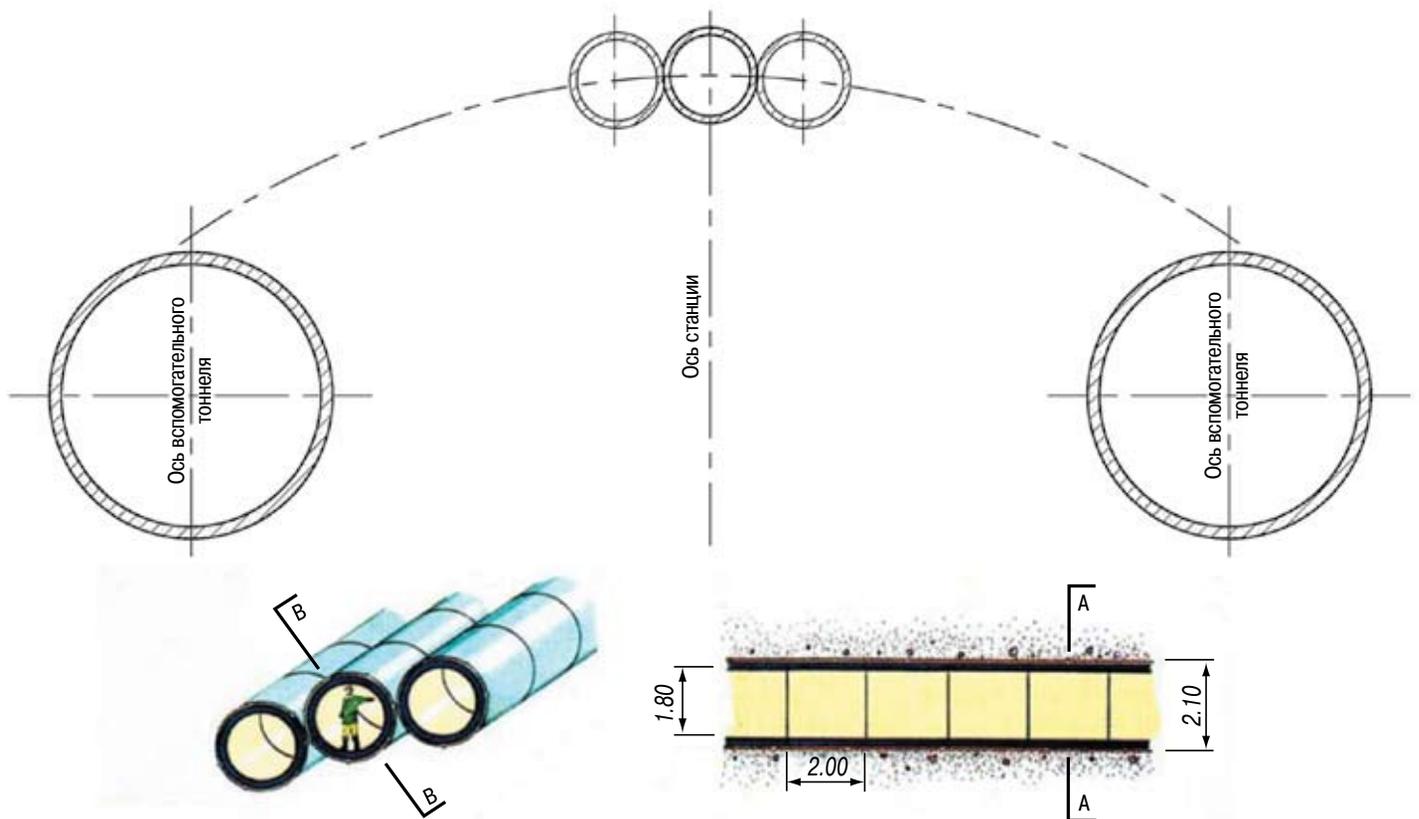
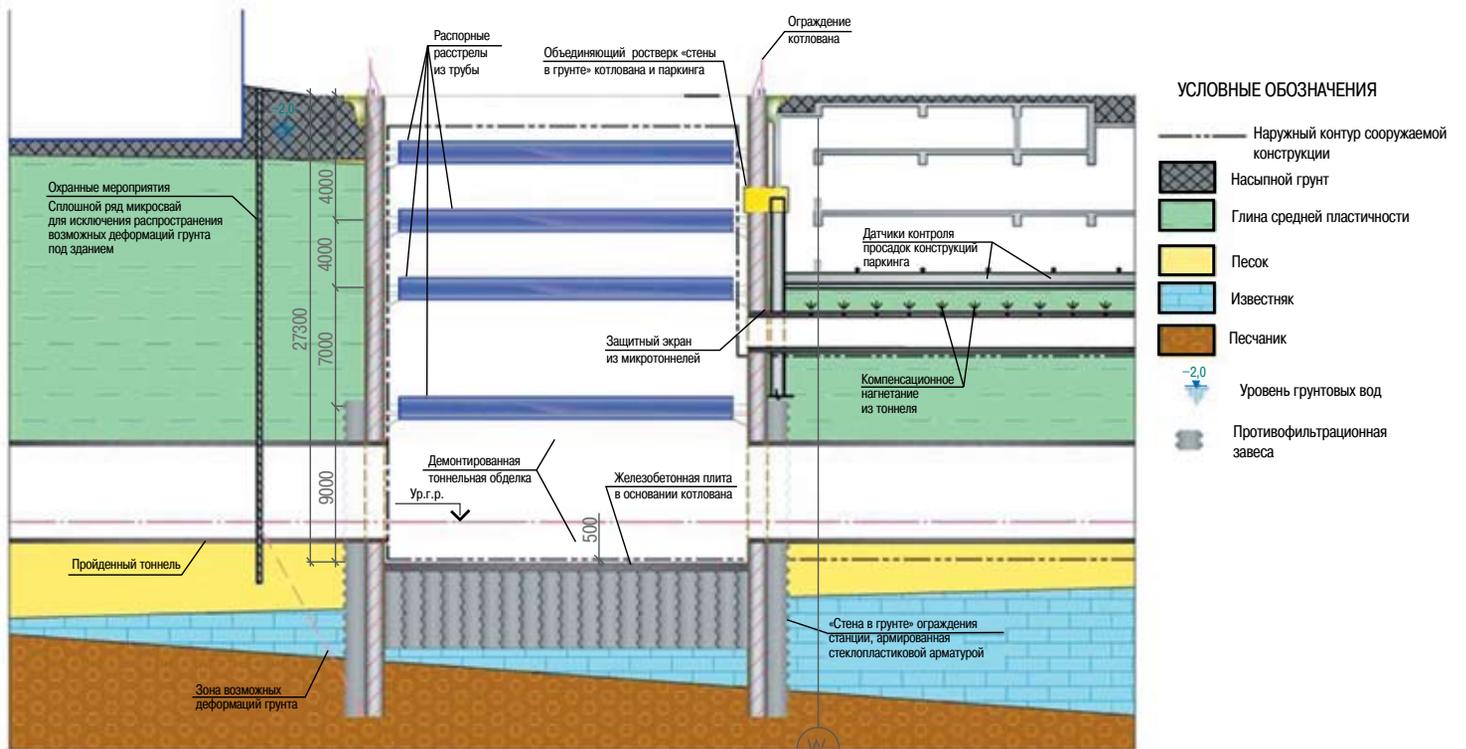


Рис. 3. Первый этап строительства

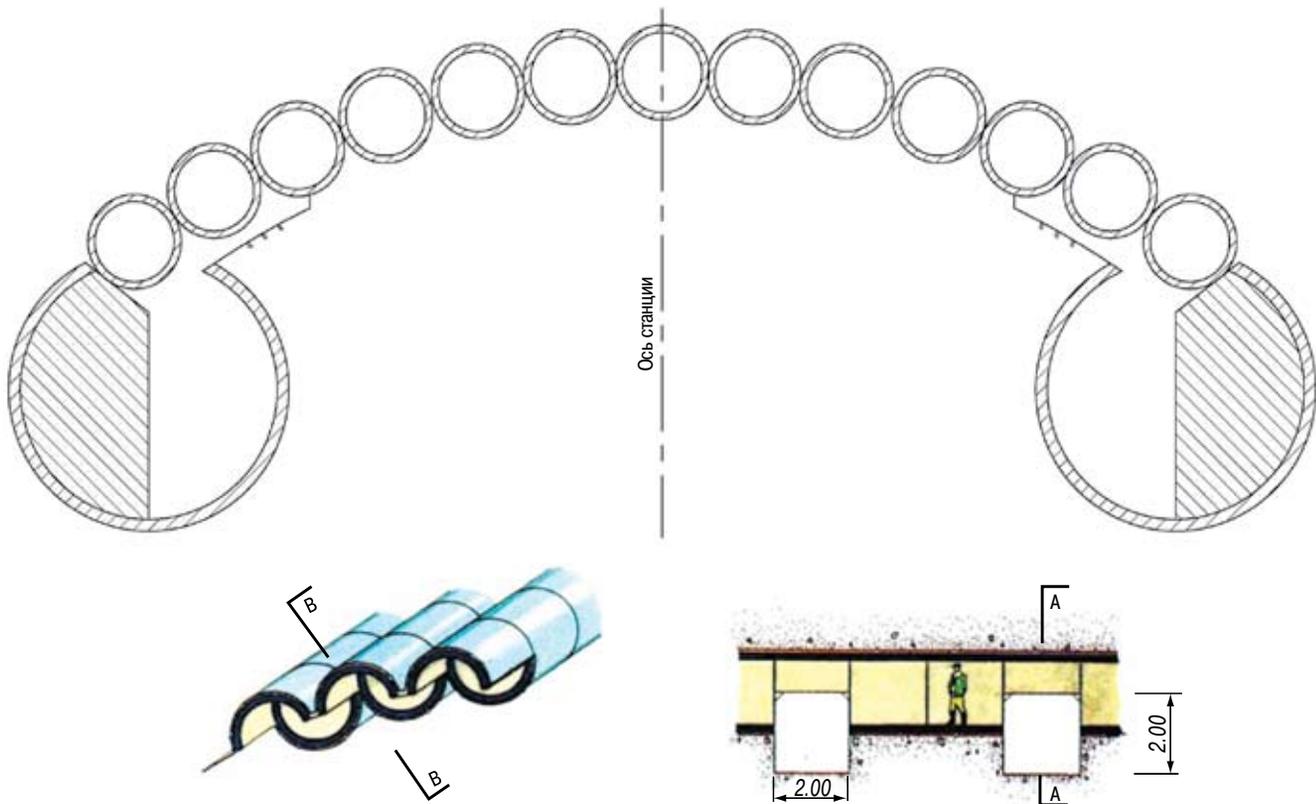


Рис. 4. Второй этап строительства

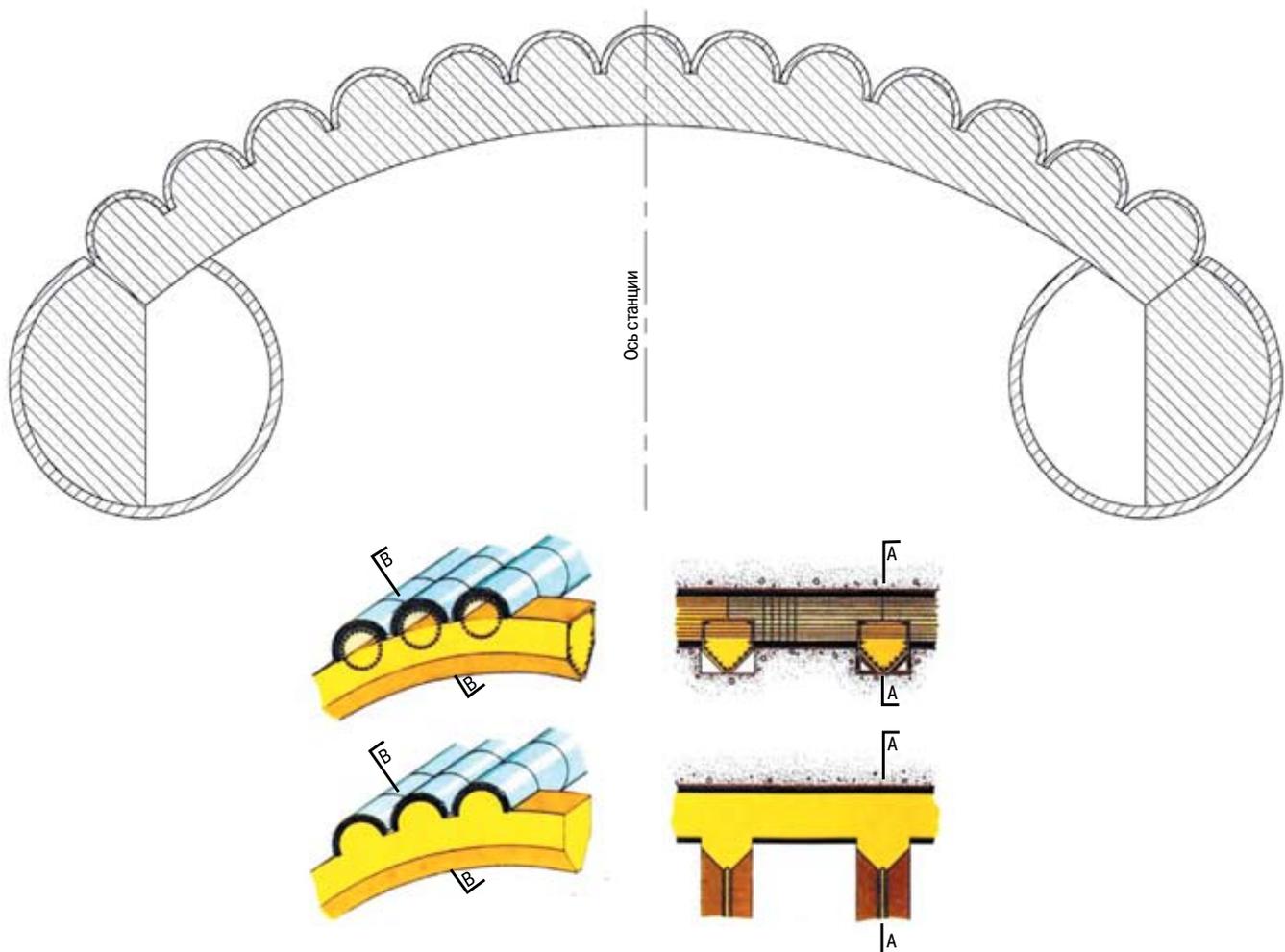


Рис. 5. Третий этап строительства

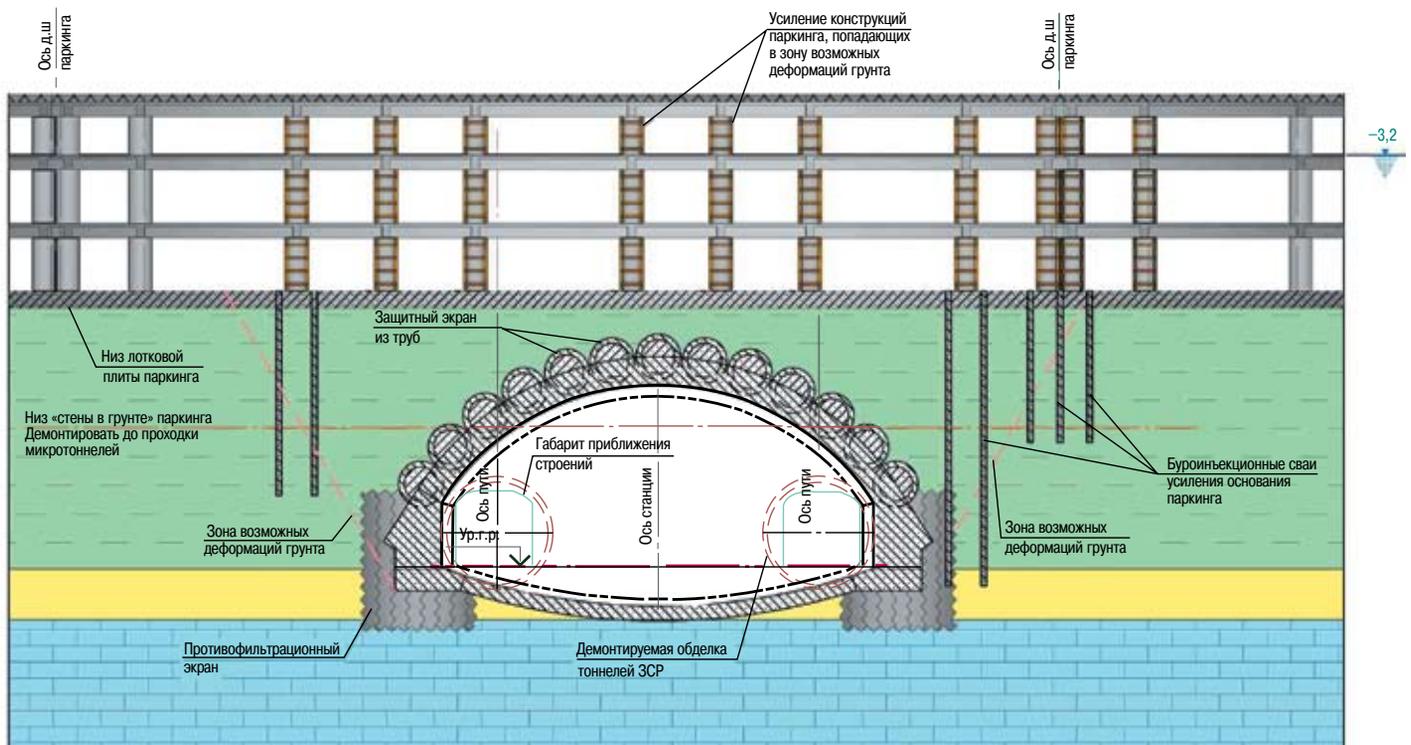
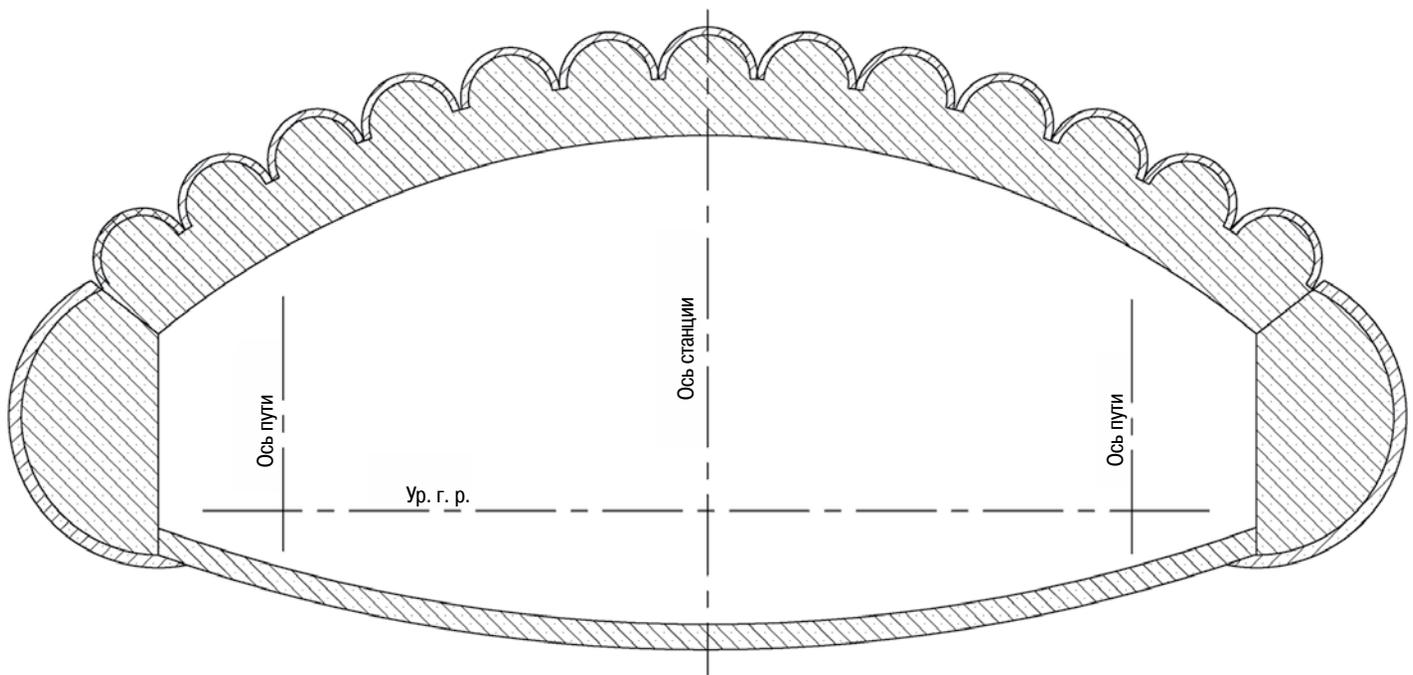


Рис. 6. Четвертый этап строительства

исключить снос существующих зданий и сооружений, в том числе находящихся под землей (паркинги, тоннели, существующие линии метрополитена и др.);

■ использование защитного экрана позволяет производить работы вблизи от поверхности или существующих зданий и сооружений (~2 м);

■ возможно устройство пересадочных узлов с действующими линиями метрополитена, авто- и железнодорожными вокзалами без прекращения их функционирования (без необходимости устройства больших стройплощадок);

Кроме того, за счет более короткого спуска и подъема, станции мелкого

заложения позволяют сократить общее время поездки пассажиров. Немаловажно и то, что условия сооружения станционных комплексов метрополитена данным методом существенно безопаснее в сравнении с традиционными способами строительства. ■



П. А. ВОРОНИН  
(ООО «МИП-Строй №1»);  
Д. С. КОНЮХОВ, Д. С. ПЕТУНИНА  
(АО «Мосинжпроект»);  
Ю. В. ЛОМОНОСОВ  
(ГУП «Московский  
метрополитен»)

# КОМПЛЕКСНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТРОПОЛИТЕНА В МОСКВЕ

*В настоящее время в российской столице, как известно, реализуется широко-масштабная программа развития метрополитена. По информации Стройкомплекса Москвы, с 2012 до 2020 гг. планируется построить более 150 км новых линий и 75 станций. Это позволит снизить нагрузку на действующую сеть метро и обеспечит шаговую доступность к нему для 93% москвичей. Строительство, однако, осложнено тем, что ведется в условиях плотной городской застройки. В среднем на 1 пог. км строящейся линии приходится 17–20 существующих зданий и сооружений. Как правило, нужно не только их сохранить, но и обеспечить безопасное и комфортное нахождение в них людей во время строительства. С этой целью разработан и реализуется комплекс мероприятий (научно-техническое сопровождение).*

## Состав комплекса мероприятий по НТСС

На стадии проектно-изыскательских работ комплекс мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства (НТСС) включает в себя:

- обеспечение полноты и достаточности результатов инженерных изысканий;
- прогноз геотехнических рисков с учетом всех возможных видов воздействий;
- учет при проектировании современных конструктивных, технических и технологических решений строительства объектов метрополитена, применение эффективных и безопасных материалов, строительных машин и эксплуатационного оборудования;
- прогноз влияния строительства на сложившуюся природно-техногенную среду;

- обеспечение комплекса мероприятий по минимизации влияния строительства объектов метрополитена на сложившуюся природно-техногенную среду;

- формирование комплекта специальных технических условий, стандартов предприятий и других нормативно-технических документов;
- сертификацию новых конструкций и материалов;
- экспертно-консультативный анализ проектной документации с целью исключения рисков аварийных ситуаций, совершенствования конструктивных, объемно-планировочных, технологических решений строительства;

- составление программы работ по НТСС на стадии строительства.

На стадии строительства комплекс включает в себя:



- анализ результатов различных видов мониторинга и данных по контролю качества строительства;
- инструментальное сопровождение мониторинга и контроля качества строительства с применением геофизических и других неразрушающих методов;
- оценку пригодности к эксплуатации конструкций, изготовленных с отклонениями от проекта;
- анализ причин и последствий (в том числе долговременных) аварийных ситуаций;
- принятие оперативных решений, разработку рекомендаций и технических мероприятий по устранению последствий аварийных ситуаций и негативных факторов, выявленных в процессе мониторинга и контроля качества, а также при отклонении от проектных решений;
- создание и пополнение информационной базы данных по результатам различных видов мониторинга и учет этих данных при последующем проектировании;
- выполнение опытно-исследовательских работ;
- информационное обеспечение строительства.

### Проблемы проходки тоннелей под действующей линией

В качестве примера рассмотрим результаты проходки перегонных тоннелей Кожуховской линии (КЖЛ) Московского метрополитена на глубине около 3 м ниже действующей Таганско-Краснопресненской линии (ТКЛ) (рис. 1).

Работы производились ТПМК Неггенкнехт на глубине примерно 14–19 м от поверхности, с установкой высокоточной сборной железобетонной водонепроницаемой обделки диаметром 6 м. Строительство осуществлялось в Юго-Восточном административном округе Москвы в районе «Жулебино» между Московской кольцевой автодорогой, Лермонтовским проспектом и железной дорогой Казанского направления.

Анализ материалов по историческому использованию территории показал, что в июне 2013 года, примерно в 500 м от рассматриваемого участка пересечения, при сооружении межтоннельной сбойки произошел вынос грунта в забой, что привело к деформации колец обделки на участке длиной около 160 м. Во время работ по восстановлению обделки и цементации грунтов начали развиваться процессы механической суффозии в основании левого перегонного тоннеля на участке длиной около 30 м, что привело к развитию дефор-

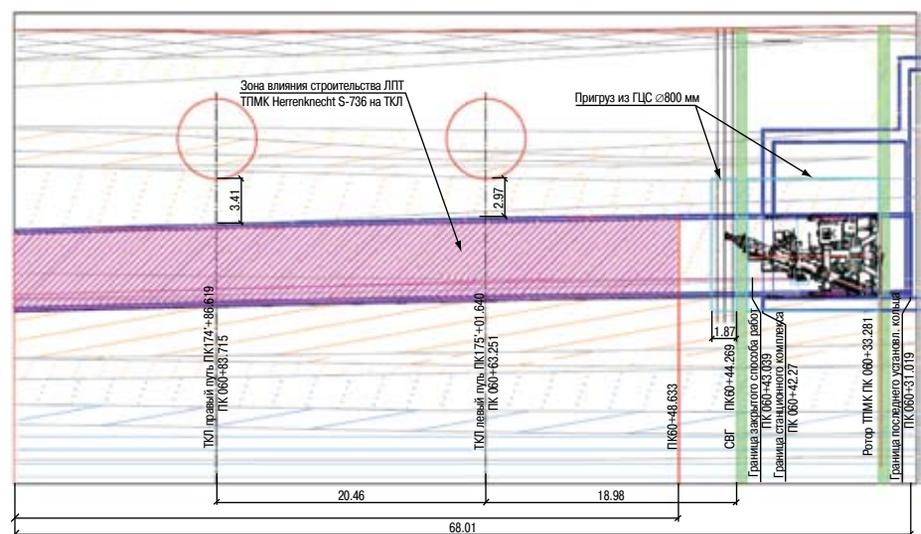
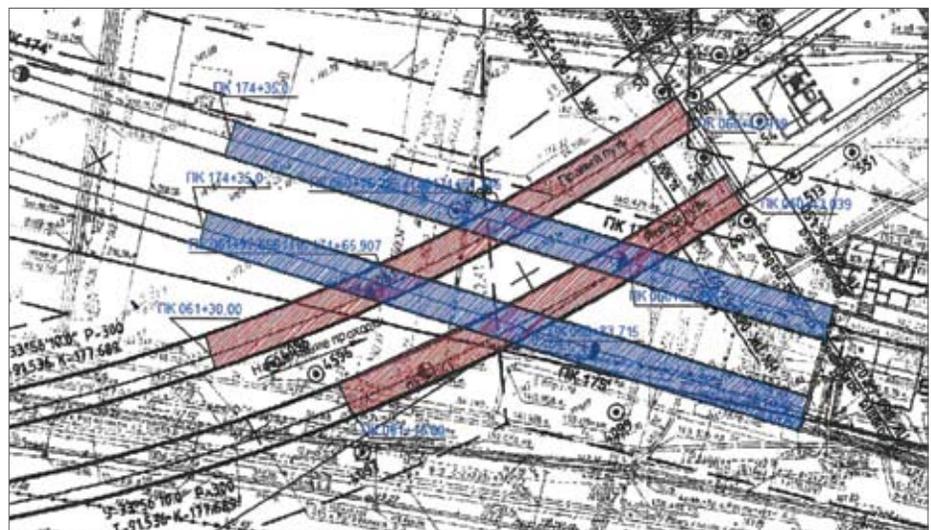


Рис. 1. Пересечение тоннелей КЖЛ и ТКЛ

маций обделки и образованию «клавиш» высотой до 178 мм. Было принято решение об откопке котлована, в пределах которого деформированные кольца обделки демонтированы и заменены чугунными тубингами. На отдельных участках сохраненной сборной железобетонной обделки выполнено ее усиление фибробрызгбетоном по сетке.

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

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

Новая проходка, как уже отмечалось, велась под действующими тоннелями Таганско-Краснопресненской линии, построенными в 2013 году. Обделка их выполнена из высокоточных железобетонных блоков диаметром 5,9 м. Обследование технического состояния тоннелей выявило следующие дефекты и повреждения:

- участки намокания в стыках колец и блоков, а также в местах стыка обделки и путевого бетона;
- поперечные (относительно оси тоннеля) трещины в путевом бетоне с шириной раскрытия до 2 мм, с фильтрацией воды по отдельным трещинам.

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

Оценка влияния строительства на существующие тоннели проводилась методом конечных элементов с использованием программного комплекса Z-Soil 13.10 (рис. 2).

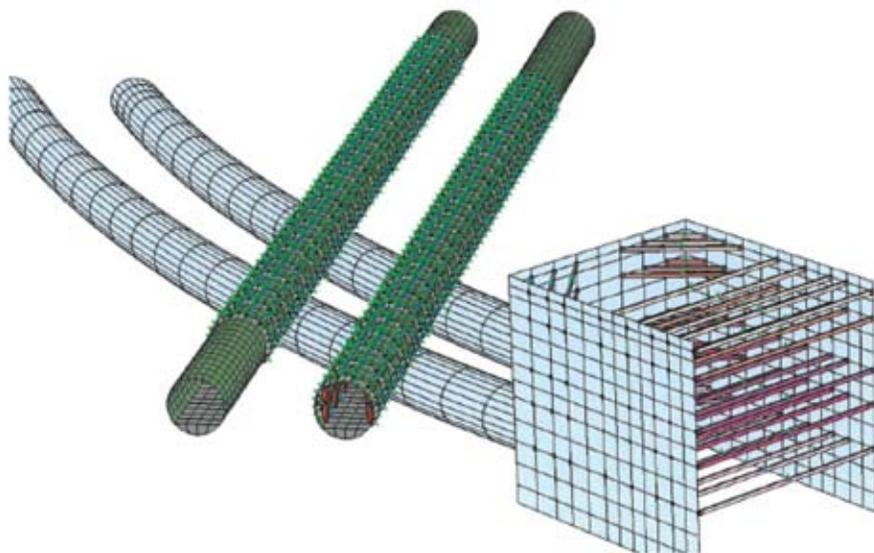


Рис. 2. Фрагмент расчетной схемы на момент окончания строительства

**Таблица 1.**  
Максимальные расчетные значения дополнительных перемещений тоннелей ТКЛ на момент завершения проходки тоннелей КЖЛ

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

**Таблица 2.**  
Коэффициенты запаса по прочности обделки тоннелей ТКЛ

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

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

В табл. 1 приводятся расчетные значения дополнительных перемещений тоннелей Таганско-Краснопресненской линии после завершения строительства.

По результатам расчета внутренних усилий в обделке действующих тоннелей определены коэффициенты запаса по прочности (табл. 2).

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

## Выявленные риски и их минимизация

Для минимизации аварийных ситуаций при проходке был составлен реестр рисков по методике, разработанной В. Е. Меркиным, М. Г. Зерцаловым, Д. С. Коноховым (2013).

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

- обнаружение затампонированных инженерно-геологических скважин;
- обнаружение валунов и/или неучтенных коммуникаций/элементов фундаментов, не выявленных при изысканиях;
- обнаружение линзы водонасыщенного песка, не выявленной при изысканиях;
- поломка основных элементов ТПМК во время проходки под тоннелями ТКЛ — двигатель, гидравлическая система, износ резцов и т. д. из-за несвоевременного выполнения регламентных работ;
- несвоевременное/недостаточное заполнение тампонажным раствором строительного зазора между ТПМК и грунтом.

К «средним» были отнесены следующие риски:

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

Для минимизации геотехнических рисков были предложены и реализованы следующие мероприятия:

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

В тоннелях Таганско-Краснопресненской линии до начала проходки были смонтированы разгружающие рамы. Они позволили снизить вертикальные перемещения левого тоннеля ТКЛ в шесть раз, правого — в семь (см. табл. 3), горизонтальные — до «нуля», обеспечили сохранность и геометрическую неизменяемость конструкции действующих тоннелей.

Дополнительно были выполнены геофизические изыскания методом электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования. Метод сочетает в себе современные достижения в области генерации наносекундных импульсов напряжения большой мощности, в качественном излучении электромагнитной волны в подповерхностные структуры и в приеме широкополосных сигналов. Задачами геофизических исследований являлось уточнение инженерно-геологического строения участка пересечения, выделение нарушенных и обводненных геологических разностей, слагающих грунтовый массив. Точки размещения антенн измерительного комплекса располагались на стенах, путевом бетоне, верхних и нижних полусводах существующих тоннелей. На каждом сечении было выполнено от пяти до семи измерений. В разрезах точек зондирования выделялись интервалы на-

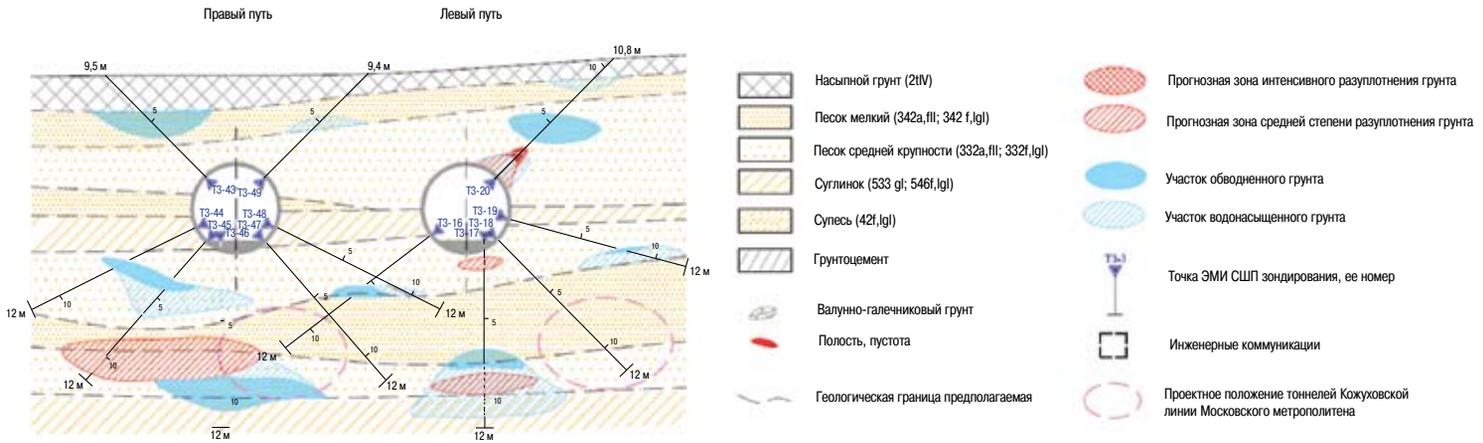


Рис. 3. Пример инженерно-геологического разреза по данным ЭМИ СШП зондирования до проходки

рушенных, обводненных и водонасыщенных грунтов, которые в последующем отображались на поперечных разрезах (рис. 3).

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

Результаты сейсмоакустического зондирования по циклам наблюдений приведены на рис. 4–7. Из графических материалов наглядно видно изменение состояния заобделочного пространства в процессе проходки.

Учитывая, что строящийся и действующие тоннели в основном располагаются в водонасыщенных песчаных грунтах, ослабленный контакт «обделка — грунт» может быть интерпретирован как сочетание выхода воздушных пузырей из призабойного пространства ТПМК и их подъем к поверхности под действием вибрации от работы механизмов проходческого комплекса, с центростремительным перемещением водонасыщенной грунтовой массы при работе ротора. После завершения проходки и стабилизации деформаций состояние заобделочного пространства практически восстановилось.

Далее повторно были проведены исследования грунтового массива методом ЭМИ СШП.

В результате установлено, что:

- выявленные до начала строительства интервалы нарушенных, обводненных и водонасыщенных грунтов в основном остались без изменений;
- вблизи пройденного левого перегонного тоннеля Кожуховской линии образовались участки разуплотненных и водонасыщенных грунтов, что подтверждается данными сейсмоакустического зондирования;

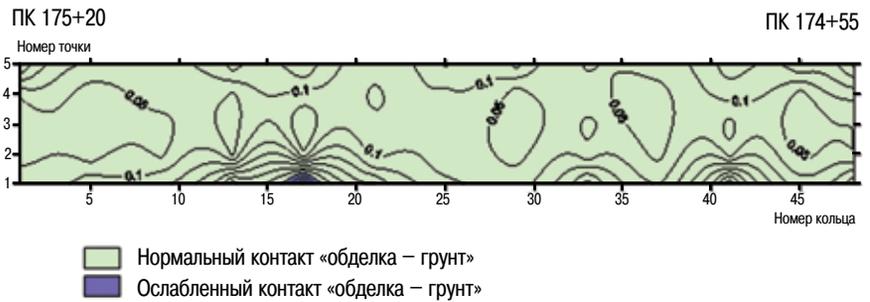


Рис. 4. Результаты сейсмоакустического обследования 1-го пути, 0-й цикл (перед проходкой)

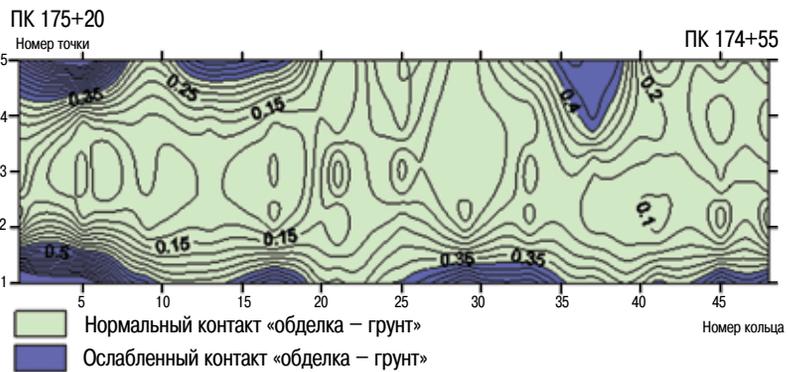


Рис. 5. Результаты сейсмоакустического обследования 1-го пути, 1-й цикл

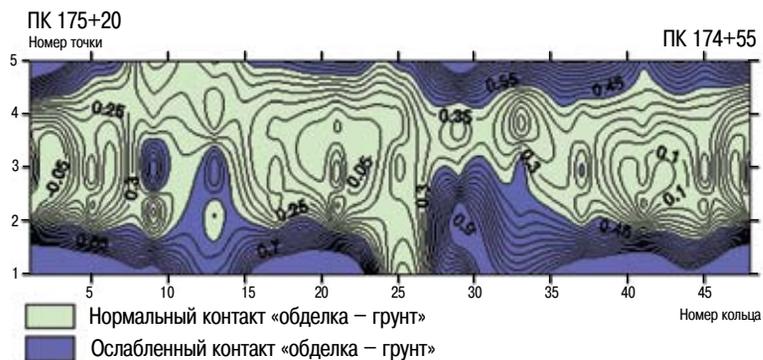


Рис. 6. Результаты сейсмоакустического обследования 1-го пути, 2-й цикл

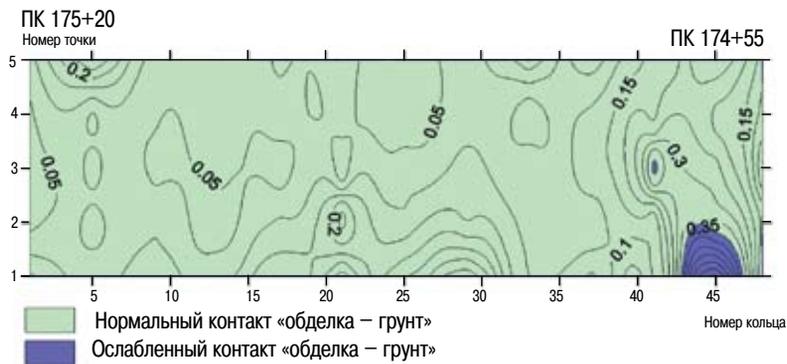


Рис. 7. Результаты сейсмоакустического обследования 1-го пути, контрольный цикл

Таблица 3.  
Дополнительные перемещения тоннелей ТКЛ

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

- увеличилось число участков разуплотненных грунтов после проходки;
- уменьшилась влажность грунтов.

### Технологический регламент

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

- режимов проходки, выполнения основных операций технологического цикла;
- диаграммы давления грунтового пригруза забоя по трассе в шельге свода и на уровне лотка тоннеля, а также предельных значений пригруза, обеспечивающих безопасность труда и сохранность зданий и сооружений в зоне влияния проходческих работ (расчет выполнялся по методике СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011);
- состава растворов для пеногрунтового пригруза забоя;
- составов тампонажных растворов, их приготовления и нагнетания;
- допусков на ведение щита по оси тоннеля;
- мероприятий по предотвращению аварийной ситуации при проходке, включая: контроль заполнения заобделочного пространства тампонажным раствором с использованием специального устройства в виде «гребенки», обеспечивающего возможность одновременного нагнетания не менее чем в четыре отверстия в блоках; требования по нагнетанию растворов на основе бентонита через отверстия в оболочке между передним

и средним щитами; компенсацию перебора грунта за счет зазора между ротором и корпусом ТПМК путем нагнетания бентонитового раствора в защитное пространство головной части щита через четыре порта впрыска; требования к мероприятиям при технологической остановке ТПМК.

В процессе строительства велся постоянный контроль за технологическими параметрами работы ТПМК, в первую очередь за соблюдением циклограммы проходки и диаграммы давления пригруза забоя. Сопоставление расчетного и фактического давления пригруза забоя показало, что при проходке под правым перегонным тоннелем Таганско-Краснопресненской линии (1-й путь) фактическое давление пригруза было на 0,1–0,2 бар ниже расчетного, а под левым тоннелем (2-й путь) — на 0,2 бар выше, чем, по-видимому, и объясняется разница в величинах осадок действующих тоннелей. При этом, судя по диаграмме пригруза и характеру вертикальных перемещений, при подходе к левому перегонному тоннелю давление пригруза увеличилось на 0,2 бар и произошел подъем действующего тоннеля на 1,5–2 мм, а после схода обделки с хвостовой части оболочки ТПМК — осадка тоннеля примерно на 3,5–4, что в итоге привело к осадке левого перегонного тоннеля после выхода из-под него ТПМК в 2,3 мм.

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

- визуально-инструментальный мониторинг технического состояния конструкций тоннелей с фиксацией дефектов и динамики

их изменения (трещины, водопоявления и т. п.) с частотой один раз в сутки;

- геодезический мониторинг — автоматизированные геодезические наблюдения за плано-высотным положением тоннелей (табл. 3).

Кроме контроля деформаций действующих тоннелей, во время проходки велись наблюдения за осадками земной поверхности. Прогноз осадок поверхности выполнен по эмпирической формуле:

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

где:  $s$  — осадка поверхности, мм;  $L$  — расстояние на горизонтальной плоскости от оси тоннеля до точки на поверхности по нормали к оси тоннеля, м;  $h$  — глубина заложения оси тоннеля, м.

На рис. 8 приводится сопоставление расчетной и экспериментальной кривых  $s = f(L/h)$ , из которого видна практически полная сходимости прогнозных и экспериментальных данных.

В результате реализации мероприятий по научно-техническому сопровождению строительства:

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

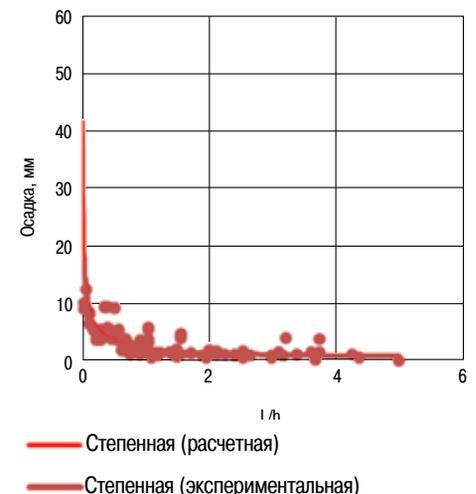


Рис. 8. Сопоставление прогнозных и экспериментальных данных



# ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

*Научно-технический форум с таким названием, организованный тоннельными ассоциациями Белоруссии и России, ОАО «Минскметропроект» и УП «Минскметрострой», состоялся в сентябре этого года в Минске.*

**В** своем приветственном слове глава ТАБ Валерий Чеканов отметил, что освоение подземного пространства в Республике Беларусь ведется активно и в различных направлениях. Так, на Площади Независимости в Минске построен огромный подземный торговый комплекс — трехэтажное сооружение площадью 100 (!) тыс. кв. метров, что почти втрое превышает площадь московского Манежа. Развивается в столице Белоруссии и транспортное строительство — к 2050 году в городе будут построены две новые ветки метро.

Об истории Минского метрополитена, которому в будущем году исполняется 40 лет, его современных задачах, а также перспективах развития подробно рассказали белорусские метростроители. Большой интерес участников форума вызвала серия докладов специалистов Минскметропроекта о методике определения графоаналитическим способом просадок грунта при щитовой проходке тоннелей, особенностях проектирования и строительства транспортных развязок в разных уровнях в условиях городской застройки, а также опыте проектирования автодорожных и железнодорожных тоннелей. Внимание присут-

ствующих привлек доклад, посвященный строительству Бакинского метрополитена. Множество вопросов вызвало и выступление представителя АО «Мосинжпроект», в котором шла речь о научном обосновании мероприятий по обеспечению сохранности окружающей застройки при строительстве метрополитена в Москве. Живая дискуссия развернулась вокруг доклада представителя Санкт-Петербургского метрополитена о применении стволотехнического комбайна российского производства. Ряд статей, подготовленных по итогам форума, приведен в этом номере журнала.

## **Минский метрополитен: история с продолжением**

Решение о строительстве метро в Минске было принято в феврале 1977 года. В том же году сюда был перебазирован тоннельный отряд, организована дирекция по строительству метро, а также институт Минскметропроект. Тогда же была забита и первая свая под строительство станции метрополитена «Парк Челюскинцев». 29 июня 1984 года первая линия Минского

Наталья АЛХИМОВА

метрополитена, включавшая 8 станций, электродепо и инженерный корпус, была сдана в эксплуатацию.

До недавнего времени Минский метрополитен состоял всего из двух линий. Первая проходит вдоль главного проспекта города — проспекта Независимости (в прошлом — Ленинский проспект), вторая же соединяет жилые районы западной части города с промзоной.

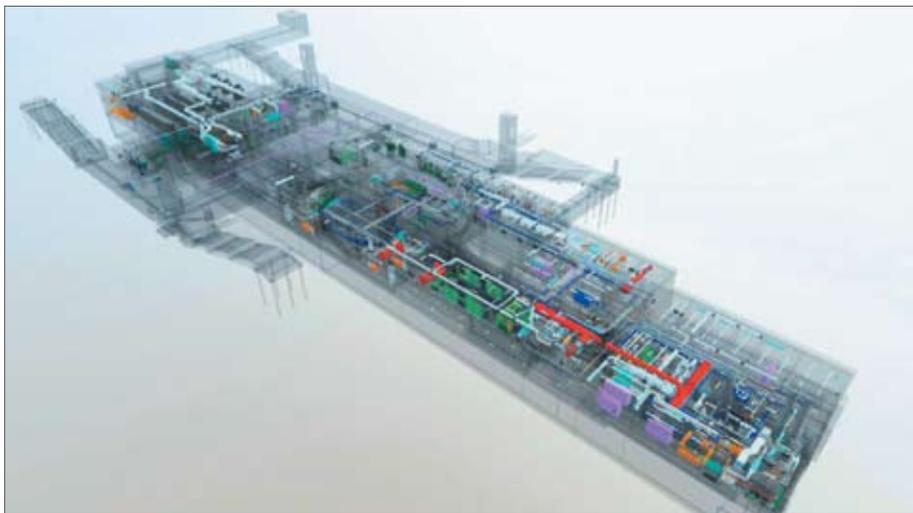
В феврале 2014 года началось строительство третьей — Зеленолужской — линии. Она будет иметь протяженность 19 км и насчитывать 14 станций — «Логойская», «Зеленый Луг», «Ивана Мележа», «Парк Дружбы Народов», «Комаровская», «Переспа», «Профсоюзная», «Юбилейная площадь», «Площадь Франтишка Богушевича», «Вокзальная», «Ковальская Слобода», «Аэродромная», «Неморшанский сад», «Слуцкий Гостинец», включать инженерный корпус, здание обслуживающего персонала и электродепо.

Третья линия соединит северные районы города с центром и позволит обеспечить скоростной транспортной связью густонаселенный жилой район Курасовщина, а также деловой район Минск-сити, который будет размещаться на территории аэропорта Минск-1. При этом в центре города будет создан транспортно-пересадочный треугольник с вершинами на станциях «Октябрьская» — «Купаловская», «Площадь Ленина» — «Вокзальная», «Фрунзенская» — «Юбилейная площадь».

## Об особенностях минской подземки

Инженерная геология в столице Республики Беларусь сложна, и именно она определяет специфику метрополитена. Для его строительства Минтрансстроем СССР был разработан типовой проект сооружения станций открытого способа работ из сборных бетонных элементов. При строительстве широко применялась трехпролетная конструкция. Использование же другой конструкции — монолитной — позволяло сооружать станции сводчатого типа, несущие стены которых выполнялись методом «стена в грунте». Впервые такую конструкцию применили при строительстве станции «Площадь Ленина» на первом участке первой линии.

Еще одна особенность, которой отличается Минский метрополитен — максимальное использование открытого подземного пространства для размещения пристанционных сооружений. Это позволяет сокра-



**BIM-модель станции «Лошицкая».** Станция будет расположена на третьей линии и относится ко 2-му пусковому комплексу Минского метрополитена

тить размеры станционного комплекса, повышает скорость строительства, снижает его материалоемкость и стоимость.

Техническое решение, которым по праву гордятся минские метростроители — полносборная конструкция односводчатой станции, позволяющая существенно сократить сроки производства работ. В такой обделке в Минске построено 6 станций, в том числе — станция «Восток», которая вместе с СТП была собрана всего за 9 месяцев.

В состав метрополитена входит инженерный корпус, который располагается на площади Независимости. Он построен на монолитной плите, под которой на глубине 5 м проходят тоннели метро. Чтобы снять вибрацию, здание «посадили» на металло-резиновые изоляторы. Конструкция позволяет в процессе эксплуатации производить замену изоляторов, но с 1984 года их еще ни разу не приходилось менять.

Еще одна сложнейшая задача, которая была решена при строительстве первой линии — это обеспечение сохранности минского кафедрального собора, построенного в 17 веке. Благодаря применению метода строительства тоннеля в железобетонной сплошной обделке, его удалось проложить прямо под ним на глубине 10 м, всего в полутора метрах от фундамента.

## Первый пусковой

В настоящее время ведутся работы по проектированию и строительству первого участка третьей линии, от станции «Корженевского» до станции «Юбилейная площадь», протяженностью 7,72 км, где сооружаются семь станций. Первый

пусковой комплекс включает станции «Ковальская Слобода» (на пересечении улиц Жуковского и Воронянского), «Вокзальная», «Площадь Франтишка Богушевича» и «Юбилейная площадь». Все они сегодня имеют разную степень готовности.

Пересадочные узлы предусмотрены между станциями «Фрунзенская» — «Юбилейная площадь», а также «Площадь Ленина» — «Вокзальная». Линия рассчитана на обращение 40 пар поездов в час пик.

Приоритеты технической политики при разработке проекта — это повышение комфортности передвижения пассажиров, высокий уровень автоматизации, технической безопасности и энергоэффективности при эксплуатации. Более комфортные условия для пассажиров создаются путем применения современных видов эскалаторов, лифтового оборудования, пассажирских конвейеров (траволаторов) для ускорения перехода на пересадочных станциях. Следует отметить, что траволаторы в Минском метрополитене используются впервые. Как и эскалаторы, они производятся в республике Беларусь.

По краям платформ предусмотрена установка автоматических станционных дверей, которые будут препятствовать случайному или преднамеренному попаданию пассажиров на рельсы. Так называемые барьеры безопасности высотой 1,7 м изготавливаются из прозрачного или полупрозрачного закаленного стекла. Над ними на высоте 2,1 м предусмотрено размещение информационных световых конструкций, которые будут служить и дополнительными источниками освещения.

Отличительной особенностью проекта строительства третьей линии Минского метрополитена является высокий уровень

автоматизации управления движением поездов, который обеспечивается, прежде всего, автоматизацией технологических процессов обслуживания пассажиров и эксплуатации инженерных систем метрополитена — оплаты проезда, управления автоматическими станционными дверями, работой инженерного оборудования, системой учета электроэнергии. Все это способствует снижению доли участия человеческого фактора в тестировании, мониторинге и эксплуатации технологических систем.

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

Станционные комплексы оборудуются современными системами обнаружения пожара, оповещения о возникновении чрезвычайных ситуаций, автоматизированными установками пожаротушения и дымоудаления, системой связи и информационными системами. Системы видеонаблюдения, которыми также оснащаются станции, позволяют службам метрополитена и МВД видеть реальную ситуацию в местах большого скопления людей, что повышает безопасность в метрополитене. Для оперативного контроля общественной безопасности проектом предусматривается создание ситуационного центра в инженерном корпусе Минского метрополитена. Кроме того, запланировано строительство наземного здания эксплуатационного персонала, а также электродепо.

Ответом на сложные геологические и гидрологические условия Минска стали современные инженерные решения, применяемые на строительстве третьей линии: проходка тоннелей механизированными щитами с грунтопригрузом забоя, технология «стена в грунте» при проходке в непосредственной близости от зданий, инженерных сетей, проезжей части улиц, технология Jet Grouting, применение железобетонных тоннельных обделок повышенной водонепроницаемости на участках с высоким уровнем грунтовых вод, конструкции тоннельных и станционных обделок с противодеформационными мероприятиями, специальные методы водопонижения на протяженном участке, улучшение грунтового основания тоннеля открытого способа работ путем замены грунтов на песчаную подушку, широкое применение

разнообразных способов укрепления котлованов — свайное, анкерное, из буронабивных свай, оптимальное сочетание сборного и монолитного железобетона.

Концепция решений по архитектурным интерьерам пешеходных зон станций основана на следующих принципах: архитектурным приоритетом является объемно-планировочное решение станционного комплекса, отвечающее всем требованиям обеспечения безопасности передвижения пассажиров, конструктивной безопасности и условиям вписывания станций в городскую среду, использование национальных мотивов в оформлении интерьеров станций, минимизация отделочных работ с мокрыми процессами и замена их на сухие монтажные технологии отделки с применением панелей из нержавеющей стали и стекла, подвесных потолков из негорючих материалов, облицовки естественным и искусственным камнем по технологии вентилируемого фасада. Отделка путевых стен и низа перекрытий на участках платформ над путями, как правило, осуществляется путем окраски по бетону, без предварительной подготовки. Такой подход позволяет получить недорогую и удобную в эксплуатации отделку станций.

Еще одним элементом дизайна пассажирских зон является создание энергоэффективной системы архитектурного электроосвещения, как рабочего, повседневного, так и праздничного.

Первый пусковой комплекс третьей линии Минского метрополитена будет

оборудован современной бесшпальной конструкцией верхнего строения пути, основные преимущества которой — эксплуатационная надежность, снижение шума и вибрации. Конструкция, разработанная белорусскими специалистами, принципиально меняет подход к виброшумогашению. Узел крепления рельса позволяет обеспечивать регулировку в процессе эксплуатации как по вертикали, так и в плане. На сегодняшний день выпускается порядка 2000 таких блоков в месяц, что позволяет обеспечить скорость сооружения верхнего строения пути порядка 400–500 м в месяц.

Сооружение верхнего строения пути ведется по принципу «сверху вниз», бетонирование — в зависимости от строительной ситуации — производится как бетононасосами, так и классическим путем — подачей дрезины на рельсовом ходу с миксером. Сварка осуществляется контактным способом с применением алюмотермита.

Проектом установлены повышенные технические требования к подвижному составу. Это должны быть вагоны нового поколения, системы автоматизированного управления, менее шумные и более комфортные, а также более экономичные в эксплуатации, причем приспособленные, при необходимости, для движения без машиниста. В настоящее время в Республике Беларусь ведется их разработка для последующего внедрения в производство. ■



Новый тоннель третьей ветки Минского метрополитена



*В рамках минского форума состоялась техническая экскурсия на строящиеся станции метро: участникам профессиональной встречи было предложено ознакомиться с ходом строительных работ ст. «Ковальская слобода» и «Юбилейная площадь».*



## НА СТРОЯЩИХСЯ СТАНЦИОННЫХ КОМПЛЕКСАХ

### Станция «Ковальская слобода»

Подземные тоннели Минского метрополитена прокладывает ТПМК с красивым белорусским именем «Алеся». Несколько лет назад он был закуплен специально для строительства третьей линии метрополитена. Уже готовы два перегона, соединившие станции «Вокзальная» и «Юбилейная площадь».

В мае нынешнего года тоннелепроходческий щит «Алеся» начал прокладку перегонного тоннеля длиной 1256 м тоннеля от ст. «Вокзальная» до ст. «Ковальская слобода». Скорость проходки зависит от геологических особенностей и составляет в среднем 250 м в месяц.

Готовность этой станции весьма высокая, порядка 80%, основные строительно-монтажные работы завершены. В настоящее время ведутся архитектурно-отделочные и сантехнические работы, монтаж электро-технического оборудования, формируются входные группы металлоконструкций павильонов. Станция будет вводиться в эксплуатацию в составе первого пускового комплекса, одновременно с другими станциями.

В соответствии с установленными сроками, объект должен был вводиться в эксплуатацию в 2019 году. Но процесс освоения территории затянулся, и около 70 зданий и сооружений было снесено по решению суда. По словам метростроителей, при строительстве станции «Ковальская

слобода» работы по подготовке территории заняли около полутора лет, что передвинуло дату пуска объекта на 2021 год.

С технической точки зрения станция «Ковальская слобода» представляет собой оборотные тупики, блок служебных помещений, платформенный участок и вестибюль. Станционный комплекс строился в открытом котловане. Крепление котлована было комбинированным — сваи расширились с помощью расстрелов, по платформенному участку была применена стена в грунте.

Так как станция «Ковальская слобода» — мелкого заложения, она не оборудована эскалаторами. Для маломобильных групп населения предусмотрены вертикальные лифты. Платформа представляет собой изолированную монолитную плиту, на которую уложен «пирог» конструкции пола.

Отделка кассового зала станции «Ковальская слобода» выполнена из натурального камня (пол) и керамической плитки (по стенам и колоннам), в подвесные потолки встроены светильники. Свод станционного помещения будет побелен, а по бокам платформенного участка установят металло-керамику, которую минские метростроители широко применяют для отделки станций. Она позволяет исключить «мокрые» процессы, сократить время производства отделочных работ и производственные затраты.

Остальные же станции первого пускового комплекса третьей линии имеют большую глубину заложения и там предусмотрены эскалаторные группы. На пересадочных узлах Вок-

зальная и площадь Ленина для обеспечения пересадки с первой линии на третью сооруже- ны два тоннеля, которые пройдены обычными немеханизированными щитами 1С.

### Станция «Юбилейная площадь»

Самой глубокой в минской подземке ста- нет ст. «Юбилейная площадь»: она опустит- ся под землю на 26 м. По словам Валерия Чеканова, во время строительства 2-й линии «Фрунзенская» уже рассматривалась как пересадочная станция, поэтому элементы пересадочного узла были заложены здесь изначально, осталось лишь примкнуть к ним тоннели другой линии. Так же было и на «Октябрьской».

Уникальность этой станции в том, что она располагается непосредственно в жилом массиве – слева и справа, буквально в 2–3 метрах от ограждения стройплощадки стоят жилые дома. Чтобы сохранить эти здания, работы по сооружению котлована выполня- лись методом «стена в грунте», с объемом работ 21500 тыс. м<sup>3</sup> конструкции. Эти работы заняли порядка 5–6 месяцев. «Стена в грун- те» в данном случае работает комплексно: она выполняет ограждающую и несущую функции. Определенную сложность вносили в работу валуны, некоторые имеют размер до 3 м в диаметре. Разбить многие из них не представлялось возможным, они и опреде- лили категорию грунтов по буримости — от 3 до 10.

В настоящее время на месте будущей станции расположен котлован длиной 120 м. Крепление котлована расстрельно-анкерное, здесь впервые применили прядевые анкера, состоящие из 3–7 прядей длиной 24 м. Ко- личество же прядей в анкере определялось величиной ожидаемой нагрузки. Макси- мальная нагрузка на семипрядевом анкере в ходе испытаний составила 300 т, в то время, как для стержневого анкера она составляет

15–20 т, для титанового — около 30–40 т. Из- за того, что грунт здесь изобилует валунами, буровые работы для установки анкеров производились под защитой обсадной трубы методом обратной промывки.

На сегодняшний день установлено более 440 анкеров. С учетом того, что потребова- лось время на набор прочности корневой системы, проведение испытаний, внесение корректировок в проектную документацию по факту испытаний и т. д., выполнение работ заняло 13 месяцев. Дополнительно в котло- ване выполнялись работы по строительному водопонижению, для чего на объекте было пробурено 7 скважин.

Учитывая, что станция «Юбилейная пло- щадь» сооружается в условиях стесненной городской застройки, котлован должен вме- щать весь станционный комплекс, включаю- щий все инженерные сооружения, необхо- димые для обеспечения его деятельности. В этой связи станция будет многоуровневой — в 5 этажей. Она имеет классическую схему расположения платформы — островная платформа и две боковые путевые стороны, а все служебные помещения размещаются над платформой. Станция будет обеспечи- вать пересадку со второй на третью и с тре- тьей на вторую линии. На сегодняшний день метростроители практически подошли уже к платформенному участку станции Фрунзен- ская. Им осталось сформировать сбойку на предпусковой период.

На строительстве станции «Юбилейная площадь» впервые применена еще одна ин- новация, которую ранее не использовали при строительстве Минского метро — гидроизо- ляция из ПВХ-мембраны. Там, где потенци- ально возможен подъем уровня грунтовых вод на максимальную отметку, она сделана в двухслойном исполнении, в местах, где такая угроза исключена — в однослойном. Между слоями находится дренажный слой — фильтрующий мат из ПВХ-волокна. Его



назначение — пропустить в случае ремонта специальный гель, который будет закачи- ваться в карты размером 12×12. Проектом предусмотрена схема размещения карт с выводом контрольных и инъекционных труб в определенную нишу. Карты пронумерованы, чтобы в случае необходимости можно было бы оперативно осуществить ремонт.

ПВХ-мембрана укладывается на геотек- стиль. Листы гидроизоляции свариваются между собой специальными полуавтоматами одинарным или двойным швом.

Мониторинг состояния жилых домов, между которыми находится котлован, ведется в нормальном режиме еженедельно, по контрольным точкам отслеживается крен зданий, а также деформация фундаментов. В случае неблагоприятных погодных условий, например, при сильных дождях, контроль над состоянием зданий осуществляется чаще. На сегодняшний день осадка фундамента одного из зданий составляет 5–15 мм. Прогнозный анализ возможных просадок для метрострои- телей готовил Белорусский национальный технический университет (БНТУ). ■



Участники форума на технической экскурсии



Н. Г. ДАВТЯН,  
А. Т. ЕСАЯН, О. Н. ДАВТЯН

**Высокая стоимость строительства объектов метрополитена на фоне нестабильной экономической ситуации, но в условиях роста объемов городских пассажирских перевозок, ставит перед проектировщиками задачи по оптимизации технических решений. Новые рациональные конструкции и методы должны приводить к снижению как капитальных, так и эксплуатационных затрат. Среди таких эффективных решений — сооружение двухсводчатых станций метрополитена. Подобная конструкция станционного комплекса имеет ряд преимуществ. Среди основных: снижение материалоемкости, компактное размещение сооружений, упрощение строительства, а также более рациональное распределение пассажиропотоков.**

## ДВУХСВОДЧАТЫЕ СТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

### Варианты конструкций станционных комплексов

Наибольшее распространение в российской практике метростроения получили трехсводчатые станции колонного и пилонового типов. Их сооружение сопряжено со значительным расходом материалов и трудоемкостью строительных работ. Самым сложным и дорогостоящим этапом является возведение колонн, пилонов, ригелей и сопряженных сводов.

Радиус свода боковых станционных тоннелей станций колонного типа меньше радиуса свода среднего станционного тоннеля. При их сопряжении возникает неравномерная нагрузка на ригели колонн, что требует усиления сводов или сооружения дополнительных конструкций в среднем тоннеле.

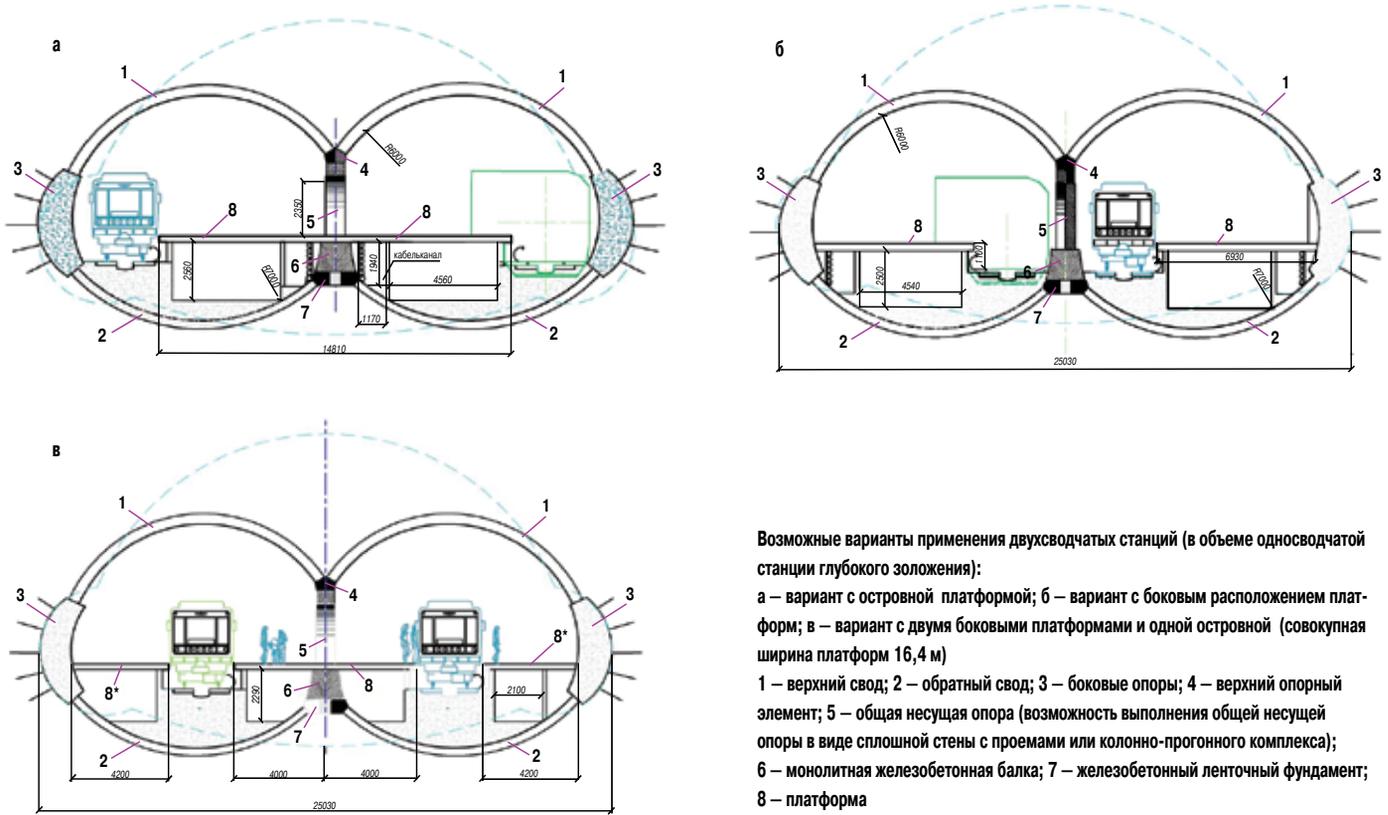
На таких станциях колонны и пилоны обычно расположены слишком близко от края платформы, что создает неудобства для пассажиров во время посадки и высадки. При этом станционный средний зал используется примерно на 50%.

Также широкое распространение получили односводчатые станции с устройством островной платформы. В этом случае сборный свод опирается на массивные пятовые опоры. Сооружение такого типа

станций более механизировано, что позитивно сказывается на сроках и стоимости их строительства. Также такие станции, по сравнению с трехсводчатыми, значительно удобнее для перемещения пассажиров за счет свободного пространства. Но при этом такая конструкция имеет и ряд недостатков. Например, у нее относительно малый коэффициент использования подземной выработки, то есть малое отношение полезного объема станционного комплекса к объему разработанного грунта.

Станция имеет большие пролеты верхнего и обратного сводов. Для уменьшения изгибающих моментов устраивается многослойный свод с обжатием на породу. Расположение путей вблизи опор сопряжено с постоянным негативным воздействием на несущую конструкцию вибрации от проходящих поездов. Передаваемые при этом на грунт динамические нагрузки способствуют росту усадок и накоплению повреждений обделки. В результате образуются трещины на пятовых опорах, возникают деформации на обратном своде.

Кроме того, известны двухсводчатые станции глубокого заложения в плотных и скальных грунтах, которые состоят из двух параллельных тоннелей, в каждом из кото-



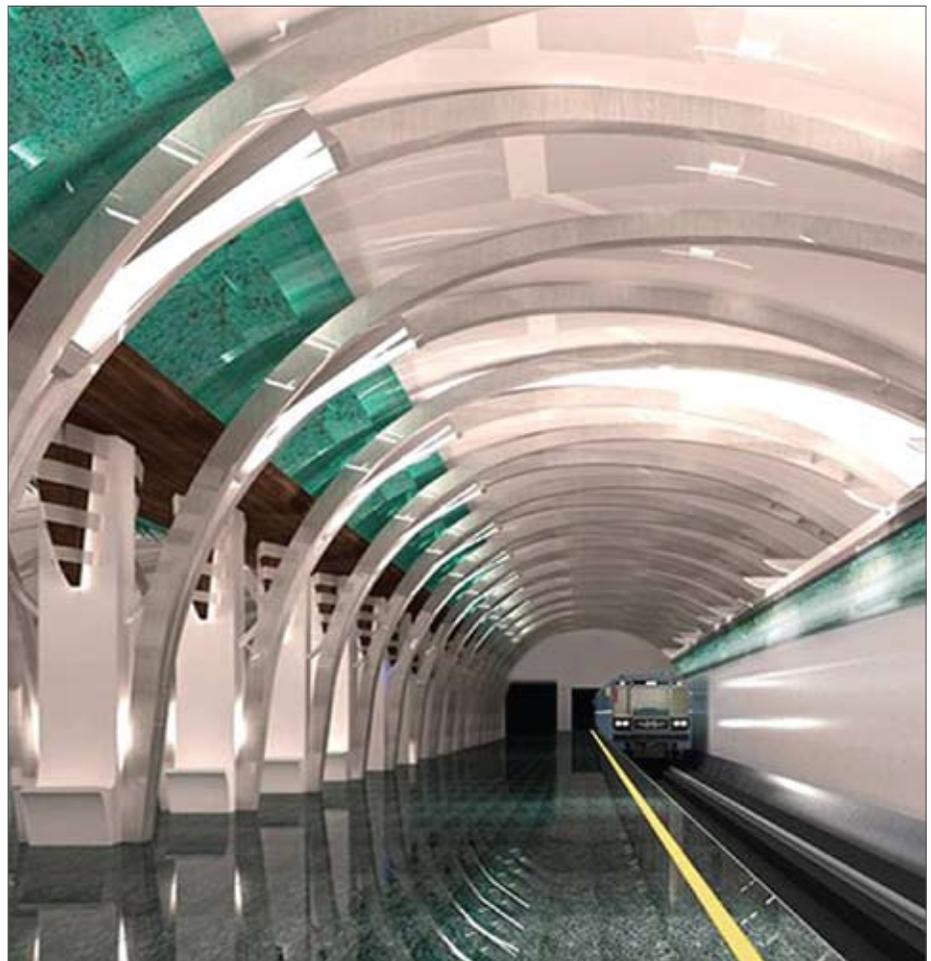
Возможные варианты применения двухсводчатых станций (в объеме односводчатой станции глубокого заложения):  
 а – вариант с островной платформой; б – вариант с боковым расположением платформ; в – вариант с двумя боковыми платформами и одной островной (совокупная ширина платформ 16,4 м)  
 1 – верхний свод; 2 – обратный свод; 3 – боковые опоры; 4 – верхний опорный элемент; 5 – общая несущая опора (возможность выполнения общей несущей опоры в виде сплошной стены с проемами или колонно-прогонного комплекса); 6 – монолитная железобетонная балка; 7 – железобетонный ленточный фундамент; 8 – платформа

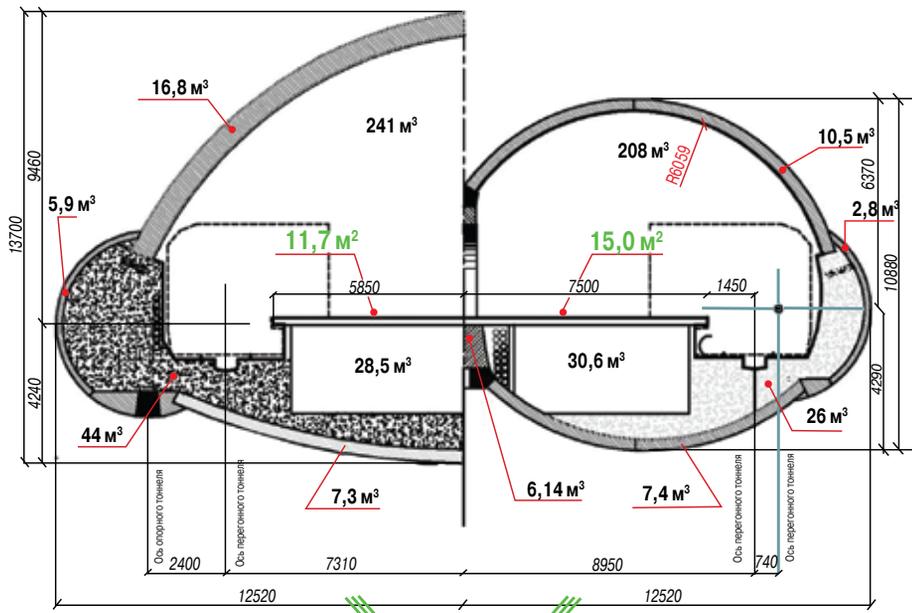
рых расположен один путь и одна боковая платформа шириной до 4 м. Основным их недостаток — неизбежное столкновение встречных пассажиропотоков со всеми вытекающими последствиями. Однако этот тип станций следует отнести к станциям пилонного или колонного типа без среднего зала.

Двухсводчатая станция с общей опорой верхних и обратных сводов представляет собой принципиально новый тип станционных комплексов метрополитена глубокого заложения.

**Преимущества двухсводчатой станции**

В первую очередь стоит обратить внимание на улучшенную эргономику. В отличие от трехсводчатых станций различных типов, в двухсводчатой отсутствует средний станционный тоннель ввиду его ненадобности. В центре станции расположены несущие элементы, на которые опираются верхний и нижний своды. Такая компоновка позволяет закладывать три возможных типа платформ: боковые, островные или смешанные. Как и в случае с односводчатой станцией, конструкция позволяет на 100% использовать платформы, обеспечивая свободное передвижение пассажиров.





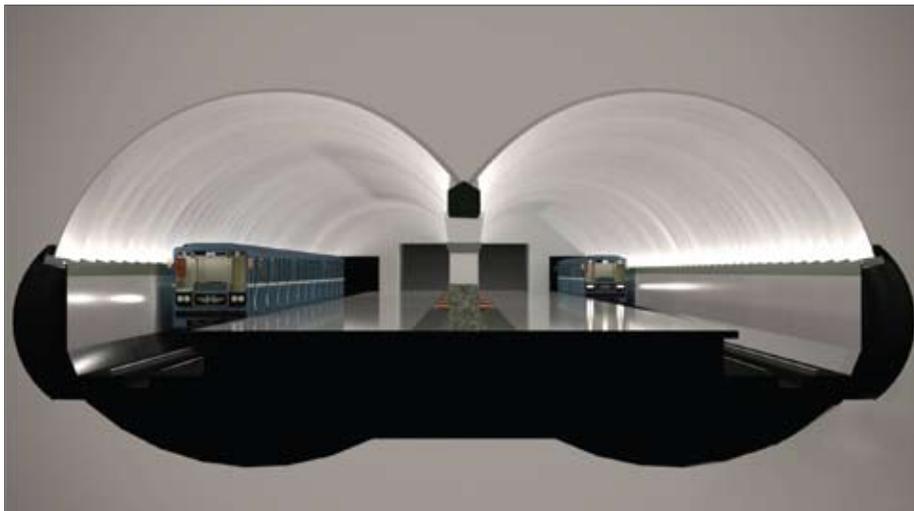
Сравнение физических объемов на 1 пог. м при одинаковом габарите станции – 25 м

Рассмотрим двухсводчатую станцию в объеме односводчатой, как наиболее экономичного варианта строительства. При одинаковой ширине станционных комплексов в 25 м, ширина платформы двухсводчатой станции равна 15 м, тогда как типовая конструкция предполагает всего 11,7 м. Это повышает комфорт для пассажиров, а также увеличивает пропускную способность. Кроме того, при возведении двухсводчатой станции достигается существенная экономия: объем выработки горной породы снижается на 20%, объемы применения монолитного бетона снижаются более чем на 50%, а сборного железобетона — на 12%.

Вариант с боковыми платформами лучшим образом подходит для конечных стан-

ций метро. Длина станционного комплекса с местом для камер съезда получается на 30–35% короче (по сравнению с островной платформой). Это подтверждает пример проектирования станции «Ачапняк» в Ереване (Армения).

Трехплатформенная станция с двумя боковыми и одной островной исключает пересечение встречных пассажиропотоков. Совокупная ширина платформ в этом случае составляет 16,4 м. Такая схема значительно увеличивает комфорт для пассажиров, сокращает время посадки и, следовательно, позволяет увеличить частоту курсирования поездов. Такой вариант подойдет для пересадочных станций, где на двух линиях частота движения составов не превышает 40 пар в час.



Расположение тоннелей

## Технические и конструктивные особенности

При разработке технико-экономического обоснования строительства перегонного тоннеля и станции «Ачапняк» Ереванского метрополитена в 1998 году на конкурс было представлено четыре проекта. После изучения вариантов государственная комиссия отдала предпочтение сооружению двухсводчатой станции. Реализовать этот проект не удалось ввиду отсутствия финансирования, однако теоретическая обоснованность такого решения была доказана.

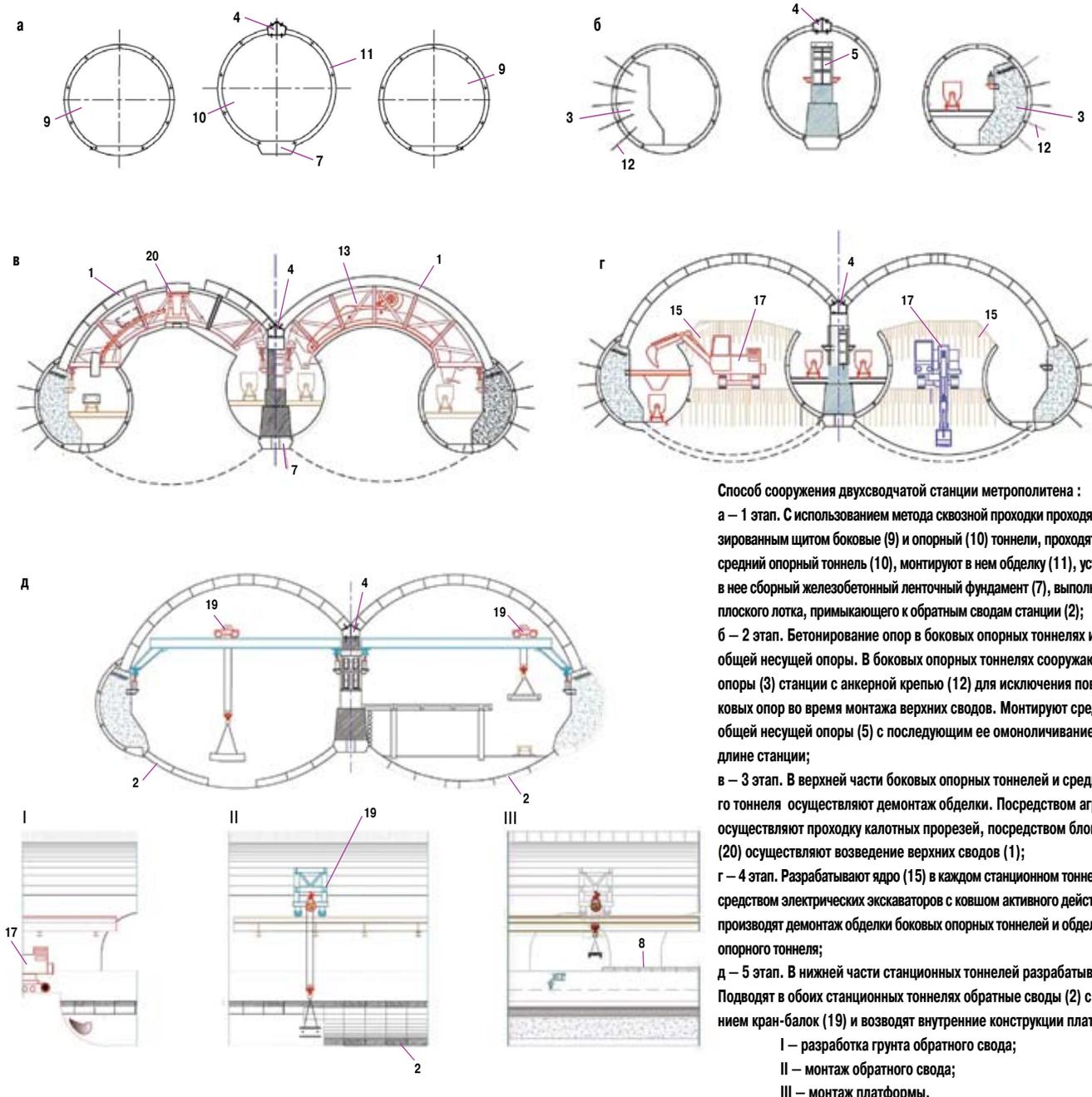
Как уже сказано выше, главный опорный элемент двухсводчатой станции находится в центре станционного комплекса, своды одинакового радиуса сопрягаются на ригелях. В этом случае нагрузка горного давления через свод передается на боковые (пятовые) и среднюю несущую опору равномерно с двух сторон.

Наличие трех фундаментов — пятовые опоры и фундамент опорной аркады — позволяет более эффективно, равномерно и на большую площадь распределять горное давление. Средняя протяженная опора, в зависимости от архитектурного решения, может быть представлена аркадой, системой колонн или сплошной несущей стеной с проемами.

Расчеты прочности и надежности конструкции для станции Ереванского метрополитена (гравийно-галечные грунты, глубина заложения 15 м до верхней части свода станции) выполнены в ПГУПС (Санкт-Петербург) на ЭВМ СМ-1420 по стандартной программе РК-6. Она позволила реализовать метод перемещений для расчетной схемы обделки кусочно-линейного очертания с односторонне работающими упругими связями в местах перелома профиля.

В результате расчета получены эпюры изгибающих моментов и нормальных сил в сечениях обделки. Максимальный момент в своде равен 520 кН/м, что при нормальной сжимающей силе 2700 кН/м позволяет принять толщину свода равной всего 0,4 м при весьма умеренном армировании: 4 стержня диаметром 25 мм из стали класса А3 на 1 пог. м тоннеля.

Для сравнения: при строительстве аналогичной односводчатой станции в Санкт-Петербурге в грунтах крепостью породы  $f=3$  (кембрийская глина) толщина свода составляет 0,7 м и более. В обратном своде, который армируется конструктивно, изгибающие моменты практически отсутствуют. Максимальная усадка (под пятовой опорой) составила 1 см, а опускание шельги верхнего свода — 0,8 см, что существенно меньше, чем в односводчатой конструкции.



**Способ сооружения двухсводчатой станции метрополитена :**

**а – 1 этап.** С использованием метода сквозной проходки проходят механизированным щитом боковые (9) и опорный (10) тоннели, проходят эректором средний опорный тоннель (10), монтируют в нем обделку (11), устанавливают в нее сборный железобетонный ленточный фундамент (7), выполненный в виде плоского лотка, примыкающего к обратным сводам станции (2);

**б – 2 этап.** Бетонирование опор в боковых опорных тоннелях и монтаж общей несущей опоры. В боковых опорных тоннелях сооружают боковые опоры (3) станции с анкерной крепью (12) для исключения поворота боковых опор во время монтажа верхних сводов. Монтируют среднюю часть общей несущей опоры (5) с последующим ее омоноличиванием по всей длине станции;

**в – 3 этап.** В верхней части боковых опорных тоннелей и среднего опорного тоннеля осуществляют демонтаж обделки. Посредством агрегатов (13) осуществляют проходку калоттных прорезей, посредством блокоукладчика (20) осуществляют возведение верхних сводов (1);

**г – 4 этап.** Разрабатывают ядро (15) в каждом станционном тоннеле посредством электрических экскаваторов с ковшом активного действия (17), производят демонтаж обделки боковых опорных тоннелей и обделки среднего опорного тоннеля;

**д – 5 этап.** В нижней части станционных тоннелей разрабатывают грунт. Подводят в обоих станционных тоннелях обратные своды (2) с использованием кран-балок (19) и возводят внутренние конструкции платформы (8):

I – разработка грунта обратного свода;  
 II – монтаж обратного свода;  
 III – монтаж платформы.

Кроме того, появляется возможность построить станцию глубокого заложения на кривой в плане. Также можно заложить удлиненный вид станции. Это позволяет равномерно распределить горное давление и существенно снизить осадку грунта, что особенно важно в условиях плотной городской и исторической застройки.

**Способ сооружения**

Сооружение двухсводчатых станций может быть выполнено как механизированным, так и горным (буро-взрывным) способом. Процесс строительства можно разделить на несколько этапов. На первом этапе методом сквозной проходки сооружают два боковых тоннеля.

Затем разрабатывается средний опорный тоннель с монтажом обделки. Вместе с этим во время проходки в обделке формируется верхний опорный элемент и устраивается сборный железобетонный ленточный фундамент в виде плоского лотка, примыкающего к обратным сводам среднего тоннеля.

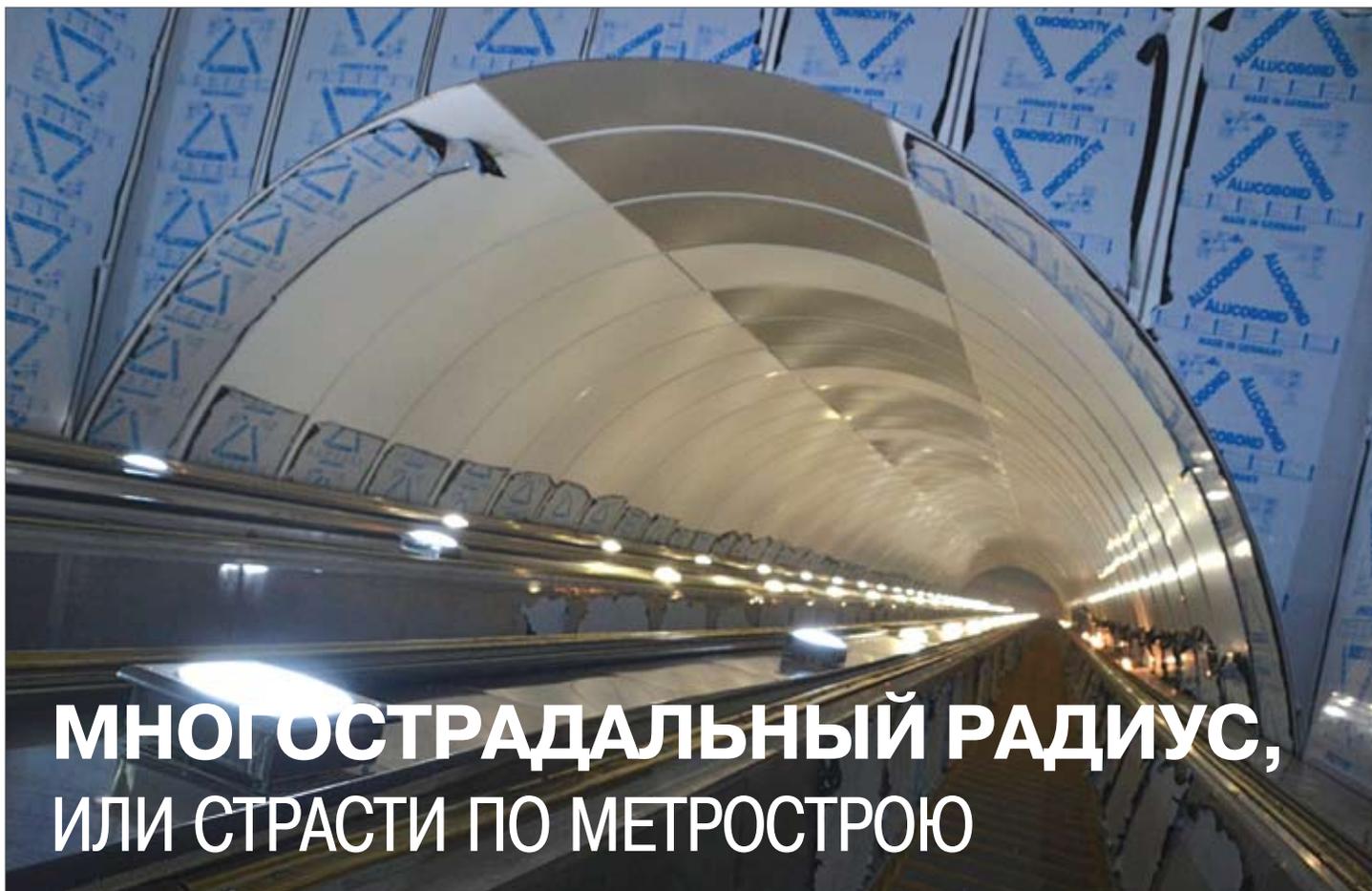
На втором этапе выполняется бетонирование опор в боковых опорных тоннелях. Конструкция усиливается анкерной крепью для исключения поворота опор во время монтажа верхних сводов. Вместе с этим выполняется монтаж средней части общей опоры с последующим ее омоноличиванием по всей длине станции.

На третьем этапе в верхней части тоннелей осуществляется демонтаж обделки. При помощи агрегатов выполняется проходка

калоттных прорезей с дальнейшим возведением верхних сводов и частичной разборкой оболочки боковых и среднего тоннелей. При этом свод может быть сформирован как из готовых тубингов, так и изготовлен сплошным бетонированием с применением скользящей опалубки.

На четвертом этапе выполняется разработка ядра в каждом станционном тоннеле посредством электрических экскаваторов с ковшом активного действия, а затем — демонтаж обделки тоннелей.

Финальный пятый этап предполагает разработку грунта в нижней части станционных тоннелей, с последующим подведением в них обратных сводов с использованием кран-балок. В завершение возводят внутренние конструкции ■



## МНОГОСТРАДАЛЬНЫЙ РАДИУС, ИЛИ СТРАСТИ ПО МЕТРОСТРОЮ



**В начале ноября 2018 года исполняющий обязанности губернатора Санкт-Петербурга Александр Беглов внес корректировки в городской бюджет текущего года. В частности, финансирование строительства метро урезали на 10,3 млрд рублей, то есть почти на одну треть. В качестве обоснования таких действий названо недостаточно активное использование заложенных на эти цели в бюджете средств. Одной из главных причин можно считать ситуацию со строительством финального участка Фрунзенского радиуса. Становится очевидно, что у ОАО «Метрострой» не получится сдать его в контрактные сроки. Этот факт, несмотря на иные достижения компании, позволил ряду «заинтересованных сторон» выступить с резкой критикой единственного профессионального подрядчика в метростроении Северной столицы. Мы постарались подробно разобраться в ситуации.**

### Контракт со сложной судьбой

Судьба контракта по строительству продолжения Фрунзенского радиуса изначально складывалась непросто. Незадолго до начала его реализации роль заказчика от Петербургского метрополитена передали Комитету по развитию транспортной инфраструктуры (КРТИ). Впоследствии КРТИ делегировало полномочия по осуществлению управления подземной стройкой своей подведомственной организации — Дирекции транспортного строительства

(ДТС). Все эти административные пертурбации не могли не сказаться на ходе реализации проекта, причем не только в процессе решения бюрократических вопросов, но и в дальнейшем, в период строительства.

Были и юридические сложности. Контракт заключили в 2014 году, то есть в момент вступления в силу новой системы госзакупок — Федерального закона №44. Он также внес свои коррективы в процесс организации работ. Негативно на реализацию контракта повлияла и задержка

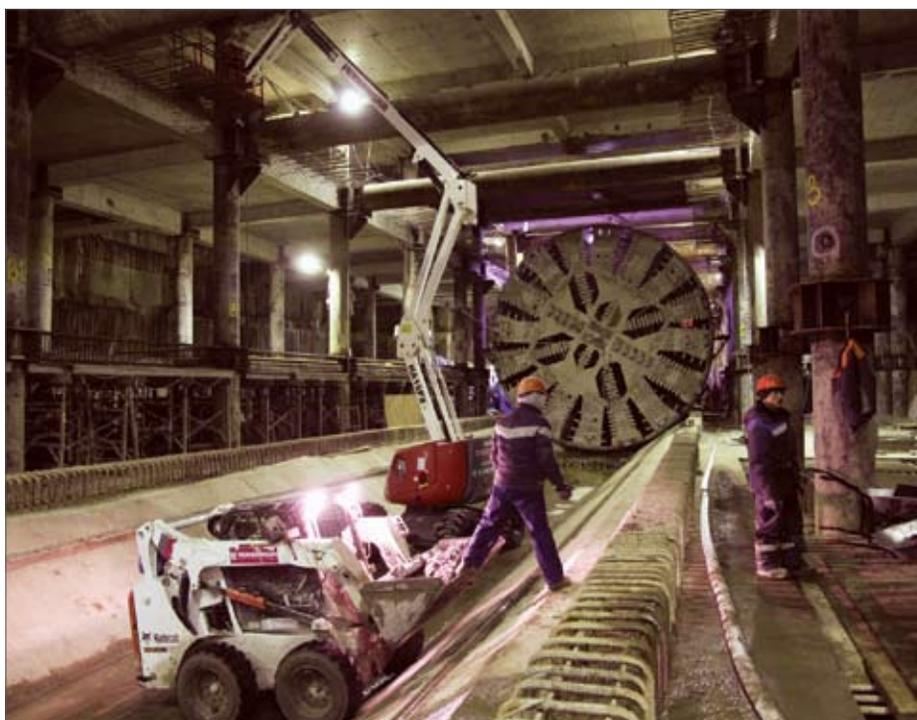
заказчиком выдачи разрешения на строительство.

Помимо этого, подрядчик долгое время не располагал актуальной рабочей документацией. Изначально конкурс выиграл московский Метрогипротранс, но качество подготовленной им «рабочки» у петербуржцев вызвало серьезные нарекания. В итоге контракт со столичными проектировщиками был расторгнут, и победителем нового конкурса стал Ленметрогипротранс. Но время, которое могло быть потрачено на выполнение строительных работ, было упущено.

Сыграл свою негативную роль при приемке работ и технологический фактор. Метрострой на объекте применил две новые технологии: механизированную проходку тоннеля большого диаметра и строительство станции «Дунайская» методом top-down («сверху вниз», так же, как впоследствии возвели основные конструкции станции «Новокрестовская»). Расценок на применение таких инноваций не существовало, к тому же потребовались дополнительные работы, затраты на выполнение которых оказалось нелегко защитить перед заказчиком. Стоит отметить, что смета контракта не учитывала и некоторых накладных расходов, например по охране площадок.

### Бюрократия и деньги

Хотя ключевым фактором, повлиявшим на ситуацию со стройкой, стал финансовый аспект, истоки следует искать в самом начале. Согласно проектно-сметной документации (ПСД), стоимость строительства почти 5 км тоннелей и трех станций составляет 35 млрд рублей. Но перед самым заключением контракта некий радеющий за государственную казну чиновник одним лишь росчерком пера срезал изначальную цену почти на треть, снизив ее до 25,9 млрд. Сегодня этот «борец за экономию» трудится в другой системе — пенитенциарной. Но вернемся к контракту. Заложенная в него стоимость, как и следовало ожидать, оказалась недостаточной для выполнения всего объема работ: 25,9 млрд рублей были полностью освоены еще два года назад, и с того времени затраты на содержание строительных площадок и выполнение работ легли на плечи подрядчика. Еще год назад метростроевцы заявляли о том, что если город выделит необходимое финансирование, предусмотренное ПСД, — требовалось еще 4,2 млрд рублей, — Фрунзенский радиус будет сдан досрочно. Но этого не случилось.



Деньги были выделены лишь в октябре 2018 года, то есть за два месяца до планового окончания строительства. При этом основную часть средств, а именно 3 млрд, КРТИ перенес на следующий год, заключив дополнительное соглашение с Метростроем и продлив срок контракта до 31 мая 2019 года. Однако сроки сдачи объекта остались неизменными. Имеющийся аванс в размере 1,8 млрд рублей ушел на оплату субподрядчикам и поставщикам, но его погашение идет с большими трудностями в виду крайней неповоротливости чиновников при приемке работ.

«Основная проблема исполнения данного контракта сегодня заключается как раз в сдаче-приемке выполненных работ» — рассказали в компании. «Предъявляемые объемы не принимаются под разными формальными предлогами. Заказчик необоснованно применяет понижающие коэффициенты на те или иные строки сметы. Кроме этого, первоначально работы принимались из расчета стоимости контракта в 25 млрд рублей. Позже все же стало очевидно, что следует придерживаться ПСД, которая предполагает 34 млрд. И это лишь один из аспектов разногласий».

### Экономим на спичках, выбрасываем миллиарды

Ряд сложностей возник и в связи с общепромышленными проблемами. В частности, в области ценообразования. Смета предполагает размер оплаты труда рабочего 4-го разряда равным 28 тыс. рублей в месяц. Но какой квалифицированный работник за такие деньги сейчас пойдет на стройку в Санкт-Петербурге? Об этом говорят и официальные расчеты. По данным петербургского Центра мониторинга и экспертизы цен, тариф на заработную плату такому специалисту находится в районе 50 тыс. рублей. То есть реальная картина в разы может отличаться от данных, формирующих отраслевое ценообразование.

«Еще более критичной ситуация была на строительстве «Новокрестовской», — комментируют в Метрострое. — Там действовали федеральные тарифы, согласно которым рабочий должен получать 11 тыс. рублей. В нашей отрасли, естественно, порядок зарплат совершенно иной. В случае и с первым, и со вторым объектом компании приходилось за счет собственных средств компенсировать эту разницу в зарплатах».

Тем не менее, несмотря на очевидное недофинансирование стройки, виновником нарушения контракта называют

Метрострой. Более того, ДТС объявила, что станции будет достраивать новый подрядчик. Стала известна и цена контракта — 8,2 млрд рублей. Но откуда взялась такая сумма? По данным Метростроя, ранее заявленных средств — а это в совокупности около 6 млрд — достаточно, чтобы завершить работы по проекту. Относительно новой инициативы заказчика у метростроевцев возникает множество вопросов. И у редакции тоже...

### Для кого расчищают питерский рынок?

В начале ноября 2018 года стало известно еще об одной инициативе Смольного. Согласно объявленным планам, город хочет приобрести контрольный пакет акций Метростроя. По мнению чиновников, это позволит более эффективно управлять компанией, а самое главное — создать конкурентную среду. Неслучайно и вице-губернатор Санкт-Петербурга Игорь Албин на протяжении довольно долгого времени высказывал критику по поводу монопольного положения Метростроя.

Но ведь мы живем в условиях рыночной экономики, и каждый желающий, обладая необходимыми компетенциями хотя бы «на бумаге», вправе побороться за право заключения контракта на строительство метро. Даже на продолжение Невско-Василеостровской линии — проект весьма рискованный — объявлялся открытый конкурс.

Сегодня городу принадлежит 46% акций. Этого вполне достаточно, чтобы направлять компанию «в нужное русло». Да и сама она не раз выражала готовность помогать городу в ситуациях, когда на прибыль рассчитывать не приходилось. Достаточно вспомнить строительство Яхтенного моста, в которое Метрострой вложил. Или злополучное завершение работ на Зенит-Арене — проект с экономической точки зрения явно убыточный, — где снова Метрострой помог городу. И даже когда потребовалось построить метро к Чемпионату мира по футболу в сроки, почти вдвое короче нормативных, Метрострой и здесь не подвел.

Отсюда и возникает вопрос — что же тогда нужно городу? Если городская администрация радеет за строительство метро и ввод в эксплуатацию новых станций, то почему проводит такую непонятную политику? Почему складывается впечатление, что станции сдаются не благодаря, а вопреки действиям властей? Почему эффективная компания, которая успешно реализует сложнейшие проекты, в последнее время вынуждена постоянно в чем-то оправдываться и испытывать финансовые трудности?

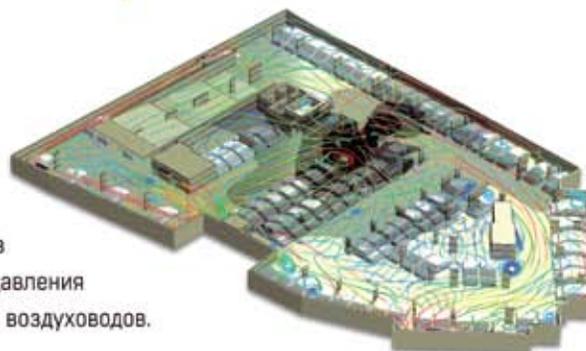
В заявлениях о возможной судьбе петербургского метростроения тоже видятся некоторые противоречия. В одних случаях говорится об «открытом рынке» и «демонополизации» с приходом новых подрядчиков, в других же — фактически о переводе Метростроя в статус государственного предприятия. Складывается впечатление, что суть в чем-то третьем... ■





## Комплексное решение струйной вентиляции от FläktGroup

- Отсутствие воздуховодов
- Создания бездымных эвакуационных зон
- Возможность уменьшения высоты потолков (более эффективное использование подземного пространства)
- Снижение первоначальных затрат за счёт стоимости воздуховодов
- Снижение эксплуатационных затрат благодаря отсутствию потерь давления и утечек воздуха в воздуховодах). Исключаются затраты на очистку воздуховодов.
- Равномерное распределение воздуха (без мёртвых зон)



Опубликованы Стандарт и Свод правил по проектированию систем струйной вентиляции дымоудаления подземных и крытых автостоянок

# С НАМИ СТРОИТЬ ЛЕГКО!



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО  
подземных частей технически сложных  
и уникальных объектов:**

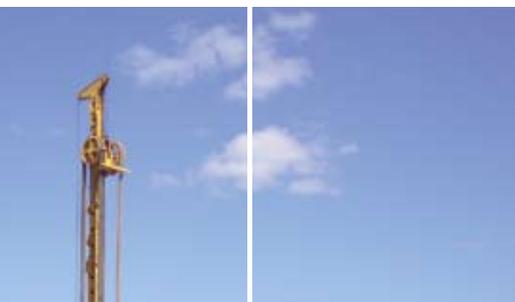
подземные автостоянки;  
транспортные развязки;  
гидротехнические сооружения

**ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ**

**ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ**

**УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ**

**ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ  
на памятниках истории и архитектуры**



г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35 тел./факс: (342) 236 90-70

ИЖЕВСК : : : : : (3412) 56-62-11 МОСКВА : : : : : (495) 643-78-54

КРАСНОДАР : : : : : (861) 240-90-82 САНКТ-ПЕТЕРБУРГ : (812) 923-48-15

КРАСНОЯРСК : : : : : (391) 208-17-15 ТЮМЕНЬ : : : : : (3452) 74-49-75

КАЗАНЬ : : : : : (843) 296-66-61 УФА : : : : : (917) 378-07-48

РОСТОВ-НА-ДОНУ : (863) 311-36-36 ЧЕЛЯБИНСК : : : : : (351) 223-24-53



**ОАО «НЬЮ ГРАУНД»**

[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru)

[info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)

