

Журнал

Тоннельной ассоциации России, входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

## Председатель редакционной коллегии

К. Н. Матвеев, председатель правления ТАР

## Зам. председателя редакционной коллегии

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

## Ответственный секретарь

С. В. Мазеин, доктор техн. наук, зам. руководителя Исполнительной дирекции

## Редакционная коллегия

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук

В. В. Внутских

С. А. Жуков

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

Ю. Н. Малышев, академик РАН

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

А. Ю. Старков

Б. И. Федунец, доктор техн. наук

Т. В. Шепитько, доктор техн. наук

Ш. К. Эфендиев

## Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172

факс: (495) 607-3276

www.rus-tar.ru

e-mail: info@rus-tar.ru

## Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71

127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,

оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов журнала только с письменного разрешения издательства

© ООО «Метро и тоннели», 2020

№ 4 2020

Петербуржскому метро – 65

Метрополитен Санкт-Петербурга: от идеи до пуска **2**

Вехи «проездного»: от бумажного билета до банковской карты **4**

В Петербургском метро представлены все типы станций **6**

## В Тоннельной ассоциации России

Применение прогрессивных технологий тоннелестроения при освоении подземного пространства мегаполисов **8**

## Мониторинг

Что обеспечивает безопасность компонентов окружающей среды при строительстве объектов Московского метрополитена? **13**

М. О. Лебедев

## Тоннельные технологии

Опережающая забойная крепь из фиброгласовых нагелей **16**

Л. В. Маковский, В. В. Кравченко

Опыт прогнозирования и мониторинга износа режущего инструмента в абразивных грунтах при механизированной щитовой проходке тоннелей **19**

А. С. Вознесенский, С. В. Мазеин, Г. В. Данилов

## Новые материалы

Что за сетка! Ускорение строительства метро в Мумбаи **26**

Томас Хьорт Йенсен

## Альтернатива метро

Разработка вариантов модернизации Московской монорельсовой транспортной системы **28**

С. П. Вакулenco, Д. Ю. Роменский, В. А. Мнацаканов, А. В. Дорохов, Д. Н. Власов

## Зарубежный опыт

Китайский опыт строительства сверхдлинных и сверхглубоких горных тоннелей: проблемы и перспективы развития **37**

В. В. Космин, В. Е. Меркин

## Наша история

Как это начиналось на Манеже **41**

А. И. Музыкантский

Партнеры Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой



# СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Открытие Ленинградского метрополитена  
(фото: Павел Маркин)  
(с. 2)

# МЕТРОПОЛИТЕН САНКТ-ПЕТЕРБУРГА: ОТ ИДЕИ ДО ПУСКА

**15 ноября 2020 г. Северная столица празднует 65-ю годовщину со дня пуска Ленинградского-Петербургского метрополитена. Сегодня уже трудно себе представить, как город жил без метро. Петербургский метрополитен, наверное, самая долгожданная подземная железная дорога страны; от идеи его создания до пуска прошло более века...**

**В**первые о метрополитене в Петербурге задумались еще в первой половине XIX в. Инженер В. Торгованов через графа Милорадовича обращался к императору Александру I с предложением устроить тоннель под Невой. С подобными идеями выступал и изобретатель И. П. Кулибин, но тоже безрезультатно.

Со стремительным развитием столицы на рубеже веков остро встал транспортный вопрос. С конца 1890-х гг. от различных организаций и частных лиц почти ежегодно поступали проекты устройства внутригородских железных дорог. В начале XX в. инженер путей сообщения П. И. Балинский, один из первых теоретиков метростроения, представил интереснейшие разработки. Он предлагал строительство шести городских линий, в том числе двух кольцевых, общей протяженностью 95,5 верст (примерно 172 км), утверждая, что «в миллионных городах... сама необходимость заставляет приступить к устройству в них таких путей сообщения, которые бы не зависели от все увеличивающегося уличного городского движения и которые бы обладали наибольшей провозоспособностью и скоростью, т. е. иначе говоря, необходимо приступить к устройству метрополитенов». Практически одновременно с Балинским были представлены и другие проекты. Их предлагали Г. А. Гиршон, Н. О. Кулжинский, А. Н. Горчаков, Ф. Е. Енакиев, Г. О. Графтио и Управление городских железных дорог. Однако большие финансо-

Невский проспект, 1896 г. Фотограф К. Булла



Евгений Козин и Владимир Гарюгин

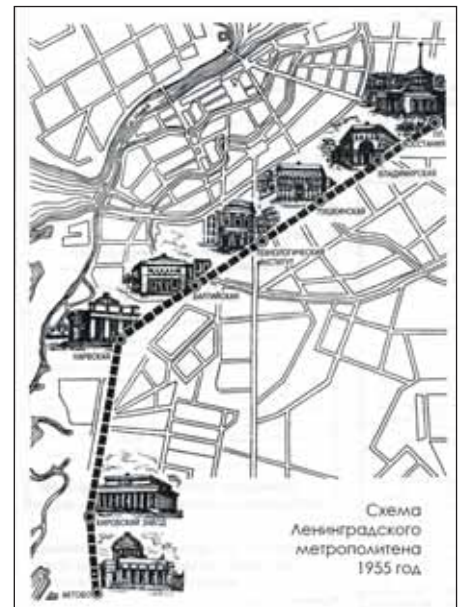
вые затраты и различные интересы при обсуждении в многочисленных инстанциях оказались непреодолимыми препятствиями на пути воплощения в жизнь идеи Петербургского метрополитена.

Судьба распорядилась так, что первый метрополитен в Советском Союзе открылся в Москве в 1935 г. В отличие от всех европейских метрополитенов строился он с боль-

шим размахом и стал одним из самых красивых в мире. Интерьеры метровокзалов, похожих на дворцы, прославляли достижения советского строя.

Вопрос о проектировании метрополитена в Ленинграде, втором по величине городе СССР, был поставлен в 1938 г. по инициативе Председателя исполкома Ленинградского городского совета А. Н. Косыги-

Схема метро 1955 г.





Торжественное открытие Ленинградского метрополитена. Фотограф Павел Маркин

**Свой 65-летний юбилей Петербургский метрополитен встречает с переменами. На смену Владимиру Гарюгину, который 30 лет руководил подземкой, пришел его первый заместитель Евгений Козин, метрополитеновец с огромным опытом работы. Без малого три десятка лет Евгений Козин посвятил работе в подземке, начав трудовую деятельность с должности помощника тоннельного мастера.**

**– Какие бы сложные задачи ни стояли перед нами, уверен, мы сумеем их реализовать. Ведь работники метро – команда высококлассных специалистов, – сказал Евгений Козин на встрече с коллективом предприятия.**

на. На первом же совещании у А. Н. Косыгина были определены основные направления будущих линий – прообраз Кировско-Выборгской, Московско-Петроградской и Невско-Василеостровской линий. По приказу наркомата путей сообщения московским институтом «Метрогипротранс» с привлечением ленинградских специалистов велась разработка проектного задания. 21 января 1941 г. был подписан документ о создании филиала головной организации, названной Строительством № 5 НКПС (Народный комиссариат путей сообщения). Эту дату Метрострой считает днем своего рождения.

Проектное задание по первому участку Кировско-Выборгской линии было выдано 1 апреля 1941 г. К строительству метро подключились десятки предприятий: железобетонный, трубопрокатный, цементный, лесопильный, станкостроительный заводы.

Все работы остановила война. Но уже в 1944 г. часть проектировщиков и строителей были отозваны с фронтов. Создание Ленинградского метро начиналось как выполнение боевой задачи. Героический город, выстоявший в 900-дневной блокаде, строил метро как символ мирной жизни.

23 декабря 1954 г. было принято специальное Постановление Совета Министров СССР № 2477 «О мероприятиях по подготовке к вводу в действие первой очереди метрополитена в Ленинграде», в соответ-

ствии с которым руководству Ленинграда предоставлялось право создать Управление метрополитена с временной численностью в 35 человек.

Возглавил Управление И. С. Новиков, с 1 января 1955 г. назначенный начальником Ленинградского метрополитена. До этого он 12 лет руководил Московским метрополитеном.

Уже в апреле 1955 г. в здании Исполкома дополнительно выделили пять комнат, в которых разместились спецотдел, электромеханическая служба, служба пути и сооружений, служба сигнализации и связи, машинописное бюро.

Штат работников метро начал увеличиваться в геометрической прогрессии. Обучались и проходили практику в Московском метрополитене машинисты и помощники машинистов, дежурные по станции и посту централизации, бригадиры и обходчики пути, стрелочники, электромеханики эскалаторов и тяговых подстанций, слесари-сантехники и другие работники массовых специальностей.

8 октября 1955 г. по линии Ленинградского метрополитена прошел пробный поезд.

12 ноября начальник метрополитена И. С. Новиков подписал приказ № 99 «Об открытии Ленинградского метрополитена во исполнение решения Исполкома Ленгорсовета». 14 ноября Указом Президиума Верховного Совета СССР Ленинградскому метропо-



Дежурная по станции

литену присвоено имя В. И. Ленина. 15 ноября первая очередь Ленинградского метрополитена от станции «Автово» до станции «Площадь Восстания» протяженностью 10,8 км была введена в эксплуатацию. Этот день считается днем рождения Ленинградского-Петербургского метрополитена.

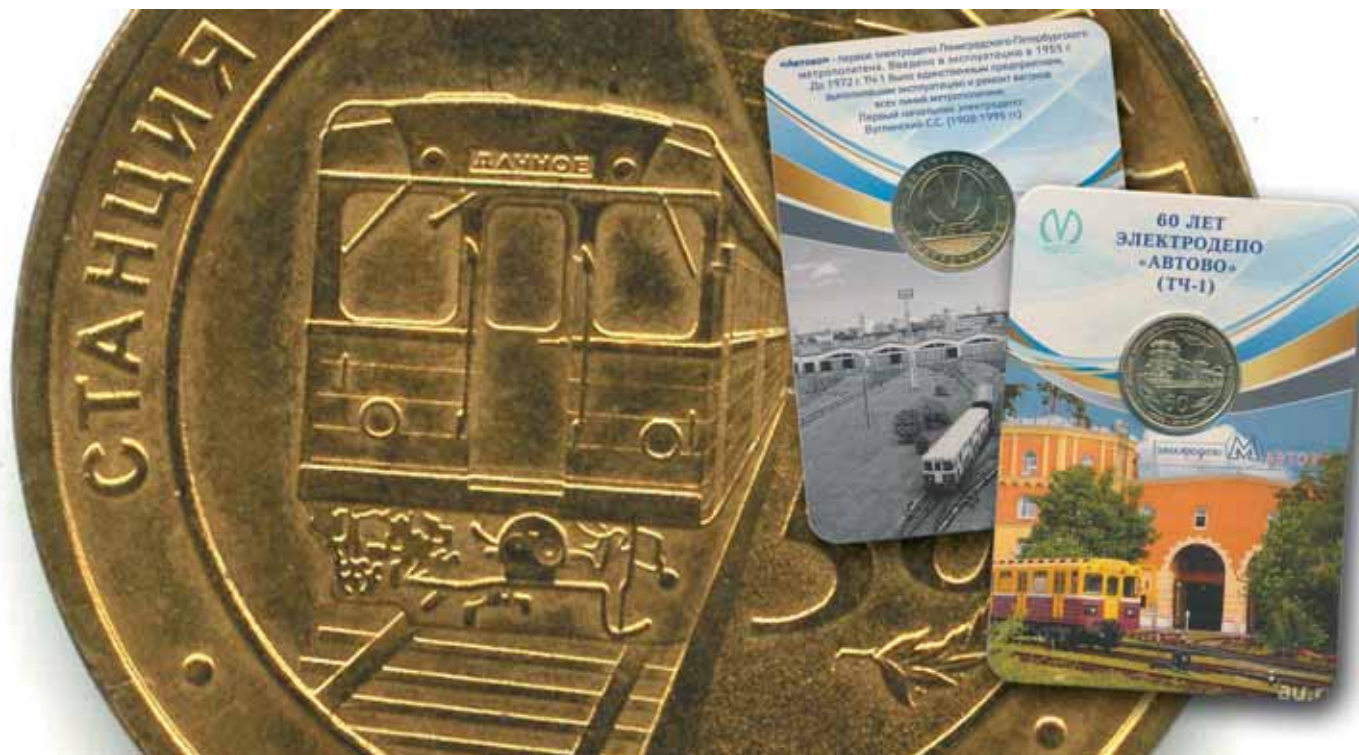
После митинга на станции «Площадь Восстания» под звуки гимна Советского Союза секретарь Областного комитета партии Ф. Р. Козлов разрезал символическую красную ленту. Машинистом первого поезда стал начальник электродепо «Автово» С. С. Вутлинский, помощником был В. М. Азетов, пришедший в первую группу машинистов с железной дороги.

Ленинградский метрополитен вступил в строй, а для его сотрудников начались трудовые будни.



*Подготовлено пресс-службой  
Петербургского метрополитена*

# ВЕХИ «ПРОЕЗДНОГО»: ОТ БУМАЖНОГО БИЛЕТА ДО БАНКОВСКОЙ КАРТЫ



На сегодняшний день в Петербургском метрополитене, помимо жетонов, существует огромное количество вариантов оплаты проезда. Одних бесконтактных карт (БСК и БЭПК) около двадцати видов. Конечно, как и везде, в Петербургском метро реализуются проездные для учащихся, студентов, пенсионеров и других льготных категорий пассажиров. Каждый, кто пользуется подземкой, может подобрать подходящий вариант, исходя из своих запросов. Например, люди, которые живут «на две столицы» часто приобретают «Подорожник-Тройка», дающий право проезда в метро и Петербурга, и Москвы. Есть проездные билеты, в том числе, на количество дней и поездок. Один из самых популярных видов бесконтактных карт - знаменитый «Подорожник» (на первой серии этих проездных был изображен лист подорожника и божья коровка – отсюда и название). Пассажир вносит на счет желаемую сумму и пополняет его по мере необходимости. При этом стоимость проезда варьируется от количества поездок. В метро возможна оплата банковскими картами платежных систем MasterCard, Visa и «Мир». Еще одна опция – использование в качестве проездного документа «Единой карты петербуржца». Но такое разнообразие, как мы знаем, было не всегда.



года, в 1958 г., была внедрена автоматическая система оплаты проезда. Жетоны, которые пассажиры опускали в турникет, были меньше современных и отличались от них цветом. Их изготовили на Ленинградском монетном дворе. В обращении они находились около трех лет и до сих пор хранятся в запасниках метро.



1992 г. из-за бушевавшей в стране инфляции стоимость проезда в метро менялась несколько раз. Тогда в обращение вновь были введены жетоны, которые вскоре стали привычным атрибутом пассажиров метрополитена.



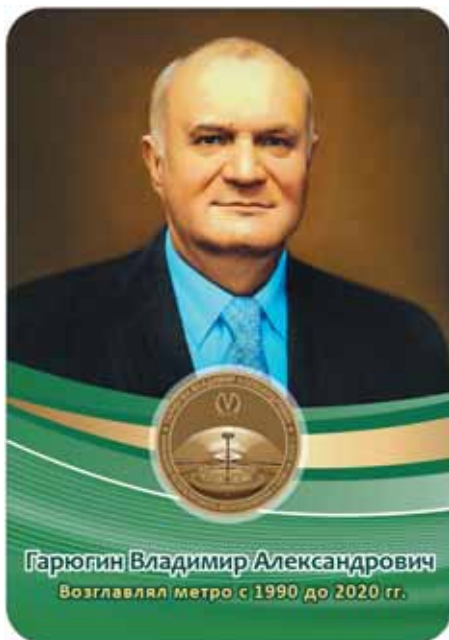
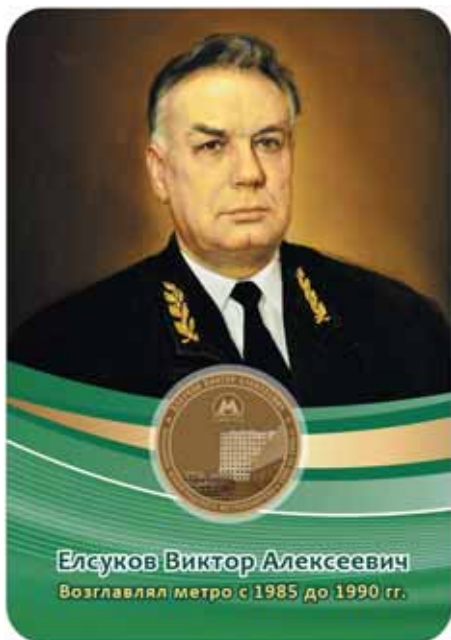
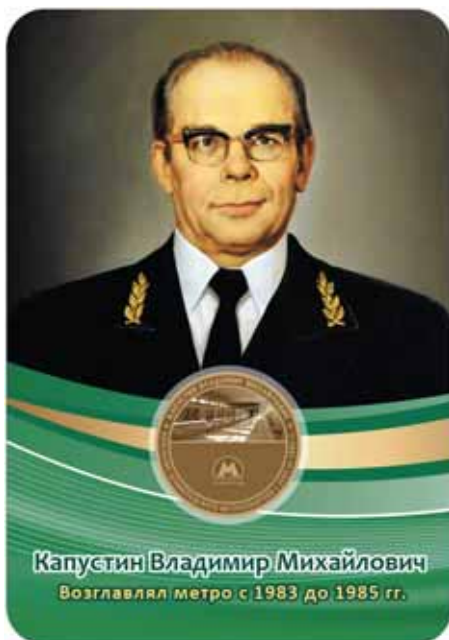
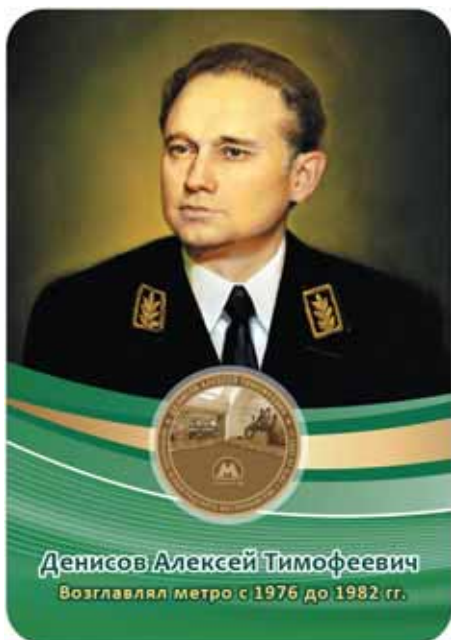
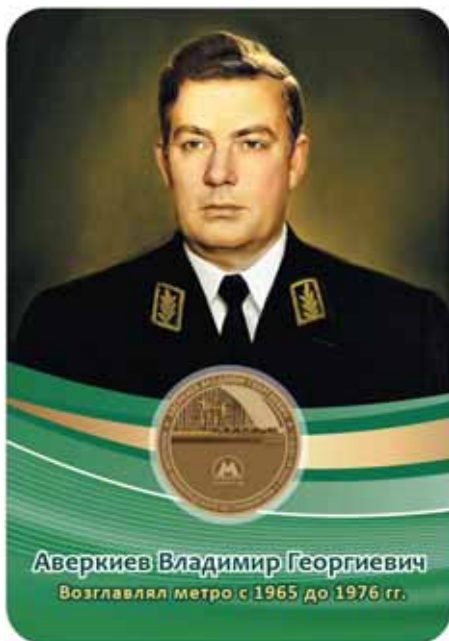
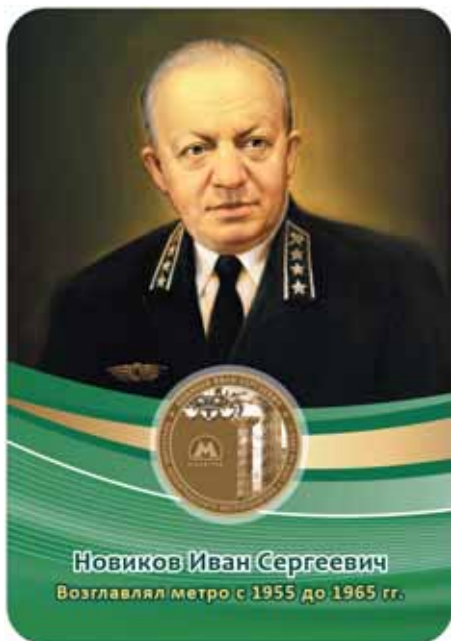
## На радость коллекционерам

Особая категория – юбилейные (или коллекционные) жетоны, которые выпускают в честь торжественных событий. Они всегда вызывают огромный интерес у коллекционеров. Идея создать юбилейные жетоны впервые возникла в начале 2005 г., а уже в ноябре ее воплотили в жизнь. Набор из восьми жетонов в блистерах и красочной подарочной упаковке, посвященный 50-й годовщине

## Вспомним историю

В 1955 г. после пуска Ленинградского метрополитена оплата проезда производилась при помощи бумажных билетов. Спустя три

С 1961 до 1991 г. пассажиры платили за проезд пятикопеечными монетами. В



со дня пуска Ленинградского-Петербургского метрополитена, изготовили на Санкт-Петербургском монетном дворе. На аверсах (внешней стороне) жетонов были изображены наземные вестибюли станций первой пусковой очереди от «Автово» до «Площади Восстания».

В 2006 г. был выпущен жетон в подарочной упаковке, посвященный пуску новой станции «Парнас».

Впоследствии это стало доброй традицией и жетоны в подарочной упаковке со специальным изображением выпускались к вводу в строй или юбилеям станций и таким значимым для города событиям, как 70-летие Метростроя и 200-летие Петербургского государственного университета путей сообщения. В коллекции заслуженно заняли свое место жетоны «5 копеек», «60 лет метро» с изображением дежурной по станции, «60 лет депо «Автово»».

К 65-й годовщине Ленинградского-Петербургского метрополитена выпущена еще одна эксклюзивная коллекция жетонов, посвященная начальникам метрополитена.

Всего на сегодняшний день выпущено 68 видов жетонов со специальным изображением, все они пригодны для оплаты проезда в метрополитене.



*Подготовлено пресс-службой  
Петербургского метрополитена*

# В ПЕТЕРБУРГСКОМ МЕТРО ПРЕДСТАВЛЕНЫ ВСЕ ТИПЫ СТАНЦИЙ

К 65-летию Петербургский метрополитен выпустил очередную коллекцию жетонов. На сей раз он посвящен начальникам, возглавлявшим метро с 1955 по 2020 г. Традиция выпускать коллекционные жетоны зародилась в преддверии празднования большого юбилея – 50-летия метрополитена. Тогда коллекция была посвящена станциям первого пуска от «Автово» до «Площади Восстания».

В 2019 г. ко Дню рождения Петербурга метрополитен приготовил всем жителям и гостям города оригинальный подарок. Особенно его оценили коллекционеры и все те, кому интересны технические тонкости работы Петербургского метрополитена. Была выпущена серия из девяти жетонов «Типы станций».

Петербургский метрополитен, наверное, единственный, где представлен весь спектр типов станционных комплексов – всего их девять. Напомним, именно здесь впервые появились станции закрытого типа и односводчатая двухъярусная станция «Спортивная», которая до сих пор остается единственной в мире, построенной закрытым способом на такой глубине.

## Станции пилонного типа

Первые станции Петербургского метро строились с применением массивных чугунно-тюбинговых и монолитных железобетонных конструкций. К ним относятся практически все станции первой пусковой очереди Ленинградского метрополитена: «Нарвская», «Пушкинская», «Владимирская», «Площадь Восстания». У подземного зала три свода: два над путевыми коробами и посадочными платформами, один над центральной платформой. Центральная платформа отделена от боковых двумя рядами массивных пилонов, служащих опорами сводам. При этом проходы на боковые платформы либо менее широкие, либо равны по ширине самим пилонам. Для образования проходов на боковые платформы устанавливались чугунные рамы.



Позднее в разные годы были построены и сданы в эксплуатацию еще несколько стан-

ций такого типа. В частности, на Линии 1 это «Чернышевская», «Площадь Ленина», на Линии 2 – «Электросила», «Московские ворота», «Фрунзенская», «Технологический институт 2», «Сенная площадь», «Невский проспект», «Горьковская».

Такая же конструкция и у станций, которые введены в строй относительно недавно. Это «Спасская» на Линии 4, «Обводный канал», «Волковская», «Бухарестская» и «Проспект Славы» на Линии 5.

## Станции колонного типа

В Петербургском метро их восемнадцать. Эти станции более просторные и широкие, чем пилонные. Исключением, пожалуй, можно считать только «Крестовский остров» на Линии 5 с достаточно узкими боковыми платформами.



«Балтийская» и «Технологический институт 1» на Линии 1 – колонные станции, сооруженные из чугунных тюбингов со стальными колоннами, стальной распоркой-затяжкой и монолитной железобетонной плитой в среднем тоннеле. Колонны держат нагрузку, но при этом занимают гораздо меньшую площадь в отличие от пилонов.

На станциях колонно-стенового заложения в некоторых проходах промежутки между колоннами заменены простенками. В качестве примера можно назвать станции «Приморская» и «Звенигородская».

## Трехпролетные станции

Эти колонные станции мелкого заложения находятся на Линии 1. Одна из них, «Автово», введенная в эксплуатацию в 1955 г., по праву входит в рейтинг самых красивых станций в мире по версии британской газеты The Guardian.

К этому же типу можно отнести и две соседние станции – «Ленинский проспект» и «Проспект Ветеранов». Обе они типовые, имеют два ряда колонн, по 26 каждый. Их особенностью является относительно небольшая глубина заложения. Станционные комплексы сооружались здесь открытым способом. Этот проект получил широкое



распространение во многих метрополитенах Советского Союза.

## Станции односводчатого типа

Всего в Петербургском метрополитене их четырнадцать.

Односводчатые станции не имеют деления на центральную и боковые платформы. Все сооружения станционного комплекса размещаются под единым сводом из железобетонных блоков, который опирается на боковые стены. Бетонные блоки затем обжимаются на породу, благодаря чему уменьшается осадка грунтов над куполом свода.



В центре располагается платформа, к которой с двух сторон прибывают поезда. Станции такого типа преобладают среди введенных в эксплуатацию в течение последних двадцати лет. Таковы, например, станции «Политехническая» и «Площадь Мужества» на Линии 1, «Черная речка», «Пионерская», «Удельная», «Озерки» на Линии 2 и т. д. Станция «Площадь Мужества» была сооружена в сложных условиях – на большой глубине, в толще относительно слабых кембрийских глин, впервые в истории отечественного метрополитена.

## Станции закрытого типа без боковых платформ

Особое внимание хотелось бы уделить станциям, конструкция которых до сих пор считается уникальной. Это так называемый

«горизонтальный лифт». Станции такого типа не имеют посадочных платформ. По бокам центрального зала расположены раздвижные двери в перегонные тоннели. Створки вагонных дверей во время остановки поезда точно совпадают со створами дверей станции, а специальное устройство синхронизирует время и скорость открытия и закрытия дверей вагонов и станции. Тип таких станций получил свое название за сходство с лифтами, у которых раздвижные двери кабины открываются синхронно с дверями шахты, расположенными на площадке соответствующего этажа.



Такая конструкция станционных комплексов позволила существенно удешевить строительство. Кроме того, учитывалось, что они безопасней в эксплуатации; закрытые станционные двери исключают падение на путь каких-либо предметов или пассажиров, а также несанкционированное проникновение в тоннель.

Однако станции такого типа оказались сложны в эксплуатации; в частности, оборудование станционных дверей требует дополнительного обслуживания. Поэтому после 1972 г. их сооружение было прекращено.

К станциям закрытого типа можно отнести «Звездную», «Московскую», «Парк Победы», «Петроградскую» на Линии 2, а также большой участок Линии 3 от «Ломоносовской» до «Василеостровской». Всего в Петербургском метрополитене насчитывается десять таких станций.

### Одноводчатые двухъярусные станции

Единственным примером такой конструкции можно назвать станцию Линии 5 «Спортивная». При этом одноводчатым, по сути, является только верхний зал, так как в нижнем зале присутствуют колонны. Сама станция строилась как пересадочный узел между Фрунзенско-Приморской и будущей Кольцевой линией. Такая конструкция позволит существенно увеличить пропускную способность транспортного узла и сократит время на пересадку пассажиров с линии на линию.

«Спортивная» рассчитана на прием одновременно четырех составов по двум линиям. Ярусы соединены шестью малыми эскалаторами, объединенными в две группы по три малых эскалатора.

Благодаря компактности конструкции узел занимает минимум подземного пространства.



Кстати, уникальность «Спортивной» состоит еще в том, что здесь впервые в истории петербургского метростроения были применены горизонтальные транспортные конвейеры (траволаторы), расположенные в 300-метровом тоннеле под Невой с выходом на Васильевский остров.

### Станции закрытого типа с боковыми платформами

Два подземных метровокзала подобного типа на Линии 3 «Новокрестовская» (ныне – «Зенит») и «Беговая» были открыты в Петербурге в 2018 г. Платформы здесь располагаются по бокам от путей, и, как упомина-



мый выше «горизонтальный лифт», оборудованы станционными дверями, изготовленными из ударопрочного стекла и такими же стеклянными противопожарными пассажирскими дверями. Выход пассажиров осуществляется на правую сторону, как и на остальных станциях метрополитена с боковыми платформами.

### Станции с боковыми платформами

В настоящее время такой тип конструкции представляет единственная станция Петербургского метрополитена, расположенная на Линии 5 – «Дунайская». Она была открыта осенью 2019 г. Станционные пути, по бокам от которых расположены пассажирские платформы, разделены здесь стеной, декорированной художественными



витражами с видами городов Европы, расположенных на реке Дунай.

### Наземные станции с боковыми платформами

Подобных станций в Петербурге до недавнего времени насчитывалось четыре, они являлись конечными на линиях метрополитена. Это станции «Девяткино» (Линия 1), «Купчино» и «Парнас» (Линия 2), «Рыбацкое» (Линия 3).



«Купчино» стала первой в городе станцией с боковыми платформами. Здесь также имеется расположенная между путями средняя платформа, являющаяся служебной и предназначенная для перехода машинистов из состава в состав. Пассажиры с платформы на платформу могут попасть через подземный переход. Аналогичную конструкцию имеют станции «Девяткино» и «Рыбацкое». Но существенное отличие «Девяткино» состоит в том, что здесь впервые была сооружена кросс-платформенная пересадка на одноименную железнодорожную станцию – платформы метрополитена совмещены с платформами пригородных поездов.

На «Парнасе» центральный переход для пассажиров расположен над путями и представляет собой арочный свод с витражами. Между первым и вторым путями расположен служебный мостик для прохода машинистов.

Осенью 2019 г. к перечню наземных станций с боковыми платформами прибавилась еще одна на Линии 5 – «Шушары».



*Подготовлено пресс-службой  
Петербургского метрополитена*

# ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ (ИТОГИ ФОРУМА, ПРОВЕДЕННОГО ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИЕЙ РОССИИ)

15–16 октября 2020 г. в конференц-зале отеля «Холидей Инн Москва Сокольники» прошел Научно-технический форум «Применение прогрессивных технологий тоннелестроения при освоении подземного пространства мегаполисов», организованный Тоннельной ассоциацией России при участии компании «ИБТ». В конференции, прошедшей в рамках форума, приняли участие 65 человек из 27 организаций.

С приветственным словом к участникам форума обратились заместитель председателя правления ТАР А. Б. Лебедев, научный руководитель ООО «НИЦ ТА» проф., д. т. н. В. Е. Меркин и вице-президент по научной работе АО «Метрогипротранс» проф., д. т. н. И. Я. Дорман.

Форум открылся докладом, подготовленным Д. С. Коноховым (АО «Мосинжпроект») совместно с И. В. Колыбиным (НИИОСП им. Н. М. Герсеванова). В нём приведены результаты проведенного анализа требований к освоению подземного пространства, изложенных в современных нормативно-технических документах.



А. Б. Лебедев



В. Е. Меркин



И. Я. Дорман



Д. С. Конохов

Во введённом в действие в 2020 г. СП 473.1325800 «Здания, сооружения и комплексы подземные. Правила градостроительного проектирования» были впервые в нашей стране сформулированы требования к градостроительному освоению подземного пространства.

Градостроительные задачи создания подземного пространства должны предусматривать:

- преемственность исторического развития городов, их пространственной организации, обеспечение их гармоничного и композиционного городского единства с учетом максимального использования подземных пространств;
- создание и развитие центров периферийных районов с подземными пространствами, объединёнными с транспортно-пересадочными узлами;
- создание системы общественных, торговых, деловых комплексов, концентрирующих значительные потоки работающих и посетителей в составе подземных пространств на периферии исторического центра.

Свод правил содержит рекомендации по разрешенному использованию объектов капитального строительства, размещаемых в подземном пространстве, по степени использования подземного пространства в городах с различной численностью населения, по размещению подземных объектов на территориях различных функциональных зон города, по функциональному составу подземных помещений, а также требования, ограничивающие градостроительную деятельность в сфере подземного строительства.

Для этого предполагается постепенный переход от использования подземного пространства городов для размещения отдельных объектов к его комплексному развитию, позволяющему сделать городскую среду более комфортной для жизни населения.

Тему продолжили доклады Д. А. Бойцова и М. О. Лебедева (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»), В. В. Пономаренко и Д. С. Петуниной (АО «Мосинжпроект»), П. Д. Павлова и Е. Г. Цигичко (АО «Метрогипротранс»).

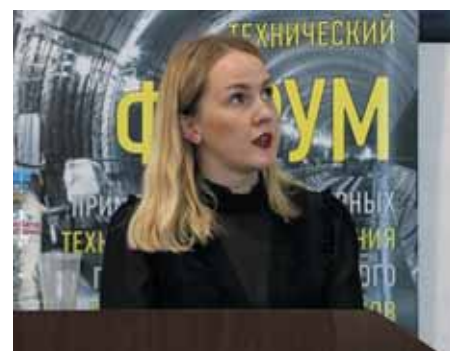
В докладе Д. А. Бойцова (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») рассмотрены проектные решения по новому типу станций мелкого заложения в сочетании с двухпутными перегонными тоннелями, разработанными для участка Некрасовской линии Московского метрополитена, станции «Стахановская», «Окская», «Юго-Восточная». Проектные решения по новому типу станций основаны на формировании объемно-планировочного решения, позволяющего минимизировать строительный объем и общую площадь станции при сохранении нормативных комфортных пассажирских пространств, а также унификации составных



Д. А. Бойцов

элементов станционных комплексов. Результатом проектирования стала разработка модульной станции блочного типа, составные элементы которой могут перекомпоновываться и модернизироваться в зависимости от пассажиропотока и градостроительной ситуации.

В. В. Пономаренко (АО «Мосинжпроект») в качестве примера синтеза инженерно-тех-

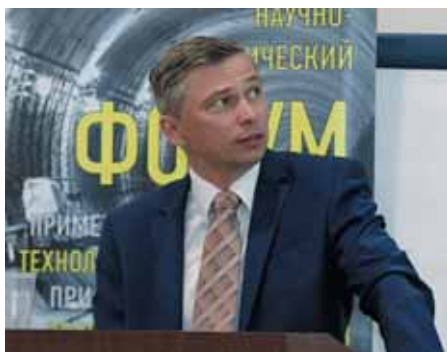


В. В. Пономаренко



нических, архитектурных и художественных решений при проектировании станционных комплексов метрополитенов представила реализованный проект декоративно-художественного оформления станции «Лефортово» Московского метрополитена.

В докладе М. О. Лебедева (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») основное внимание уделено требованиям Федеральных законов и нормативно-технических документов в части мониторинга природно-техногенной



**М. О. Лебедев**

среды при строительстве объектов метрополитена, приводятся многочисленные отечественные и зарубежные примеры организации инструментальных систем мониторинга, и указывается на недостатки Федеральных законов и строительных норм, не позволяющих предусмотреть в проектной документации все необходимые и достаточные мероприятия по мониторингу существующей застройки.

Более подробно эта проблема была рассмотрена в докладе Д. С. Петуниной (АО «Мосинжпроект») на примере мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры при проходке под ними или в непосредственной



**Д. С. Петунина**

близости от них перегонных тоннелей метрополитена. На основании анализа проектов и результатов мониторинга 18 пересечений объектов железнодорожной инфраструктуры строящимися перегонными тоннелями были выявлены недостатки действующей системы мониторинга и даны предложения по совершенствованию нормативной базы, в том числе СП 227.1326000.2014 «Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями», применению более современных видов оборудования для прове-

дения мониторинга, формированию новых методов организации мониторинга и расчета стоимости геодезических работ при наблюдении объектов железнодорожной инфраструктуры.

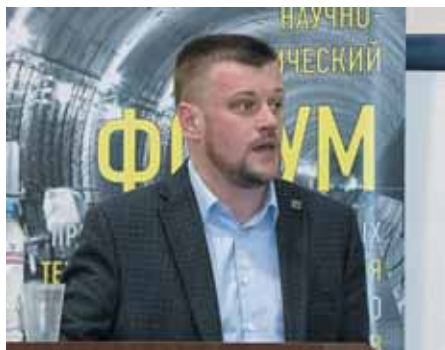
В докладе П. Д. Павлова (АО «Метрогипротранс») рассмотрены вопросы комплекс-



**П. Д. Павлов**

ного освоения подземного пространства в условиях плотной городской застройки мегаполисов и обеспечения безопасности выполнения подземных работ на примере реализованных проектов реконструкции ряда исторических памятников архитектуры в городе Москве.

Вопросы организации мониторинга за состоянием зданий и сооружений для обеспечения безопасности выполнения подземных работ были рассмотрены также в докладе главного инженера проекта АО «Метрогипротранс» Е. А. Цигичко.



**Е. А. Цигичко**

Также в первой части форума выступил генеральный директор ООО «НПК «Спецбурматериалы» В. И. Ноздря, который представил участникам информацию о разработанном



**В. И. Ноздря**

организацией вязкоупругом вспененном геле «Полиаэрогель», применяемом при проведении ремонтно-изоляционных работ при проходке скважин в рыхлых обломочных, интенсивно трещиноватых породах, характеризующихся высоким и даже катастрофическим поглощением бурового раствора. «Полиаэрогель» представляет собой вязкоупругую пену, состоящую из основы, сшивателя и пенообразователя «ПолиПАВ ВН». Этот материал может применяться для кондиционирования грунта при механизированной проходке тоннелей с использованием ТПМК вместо импортных материалов, он также обладает высокой колюматрирующей способностью, что обеспечивает гидроизоляцию стенок и высокую водонепроницаемость камеры и забоя.

Большой интерес у участников форума вызвал доклад технического директора АО «Моспромпроект» Д. А. Цюпы, в котором была представлена информация о проводимой в настоящее время работе по внедрению технологий информационного моделирования при реализации проектов строительства подземных сооружений. Работа эта ведётся в рамках Секции «Подземные сооружения» Межведомственной рабочей группы по внедрению технологий информационного моделирования, созданной при правительстве города Москвы. Руководство работой этой Секции осуществляет председатель правления Тоннельной ассоциации России К. Н. Матвеев. В докла-



**Д. А. Цюпа**

де освещена работа этой Секции за год со дня ее образования, а также на конкретных примерах были представлены возможности, которые открываются перед участниками строительного процесса при применении технологий информационного моделирования на всех этапах «жизненного цикла» объектов подземного строительства, в частности, строительства объектов метрополитена. Примечательно, что АО «Моспромпроект» в этом году вступило в члены Тоннельной ассоциации России и с первых же своих шагов в нашей организации активно включилось в работу по созданию нормативно-технической базы, обеспечивающей внедрение BIM-моделирования в подземное строительство.

С сообщением об организации строительства Красноярского метрополитена выступил директор МКП «Управление по строи-

тельству Красноярского метрополитена» И. С. Иванов. В докладе представлена информация о перспективах развития экологически чистого транспорта в г. Красноярске,



**И. С. Иванов**

включая метрополитен, а также продемонстрированы проектные решения станций первого пускового участка метрополитена.

Генеральный директор ООО «Баутрейд» А. З. Иналов представил сообщение о реализованных в России проектах, в которых в качестве отделочных материалов применены разработанные и изготавливаемые фирмой металлокерамические панели «HARDWALL». Эти панели значительно увеличивают срок безремонтной эксплуатации архитектурной отделки на транспортных объектах, имеют высокую стойкость к агрессивным воздействиям химических веществ и проявлениям вандализма, низкую пористость, высокую жесткость по-

#### Победители конкурсов ТАР



**А. З. Иналов**

верхности, стойкость к истиранию. Широкий спектр цветовых возможностей и разнообразие форм этих плит позволяют придавать объекту привлекательный внешний вид.

Представитель ООО «Промэнергоресурс» К. В. Добровольский в своем сообщении



**К. В. Добровольский**

привел примеры использования производимых фирмой гидроизоляционных материалов ГСН-1 и ГСН-2 при сооружении метрополитенов и других подземных сооружений.

Во второй части форума был заслушан доклад генерального директора ООО «Херренкнехт Тоннельсервис» Хеннинга П. Йоханниса, в котором представлена информация об организации фирмой «Херренкнехт» работы,



**Хеннинг П. Йоханнис**

связанной с обеспечением непрерывной работы механизированных тоннелепроходческих комплексов.

В рамках форума были представлены также два доклада, отражающие особенности применения технологии «jet grouting» при сооружении объектов подземного строительства.

В докладе представителя фирмы «НЬЮ ГРАУНД» С. С. Зуева была изложена инфор-





**С. С. Зюев**

мация об опыте фирмы в применении современных технологий «jet grouting» и «стена в грунте» для укрепления грунтов при освоении подземного пространства. Приведены примеры применения технологии «jet grouting» при сооружении станции «Терехово» Московского метрополитена и перегонных тоннелей метрополитена между станциями «Парк Победы» и «Раменки», а также при строительстве других объектов Московского метрополитена. Дана информация об опыте применения этой технологии для укрепления грунтов при образовании котлованов для строительства различных сооружений в Перми, Тобольске, Тюмени, Казани и других городах.

В докладе А. А. Долева (АО «Мосинжпроект») приведены результаты анализа рисков при применении технологии «jet grouting»

для закрепления грунтов при строительстве Московского метрополитена.

Технология «jet grouting» применяется в метростроении, в основном, при устройстве массивов грунта (внешних пригрузов) для ввода/вывода тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), устройства ПФЗ дна котлована, устройства



**А. А. Долев**

замковых элементов в местах соприкосновения буросекущихся/бурокасательных свай, усиления основания существующих конструкций или при строительстве новых (например, водоводов или канализационных коллекторов) и т. п. Вместе с ростом объемов закрепления грунтов по технологии «jet grouting» стали накапливаться знания и об особенностях этой технологии, которые в ряде случаев могут привести к неудовлетворительным результатам приме-

нения её для усиления несущей способности грунтов. Анализ этих ситуаций позволил выделить и сгруппировать основные причины неудач при устройстве jet элементов и выработать способы недопущения подобных явлений в будущем.

В докладе Т. Е. Кобидзе (АО «Мосинжпроект») предлагается инновационный подход к применению разновидностей гидроизоляционных материалов последнего поколения, которые в виде предварительно устроенных гидроизоляционных покрытий проявляют способность к адгезионному сцеплению к свежееуложенному бетону. Данное свойство этих материалов определило возможность разработки отечественными и зарубежными специалистами гидроизоляционных материалов и систем адгезионного закрепления, в том числе, для тех элементов обделок подземных соору-



**Т. Е. Кобидзе**

**Экскурсия на объекты строительства для участников форума**



жений, наружная поверхность которых после возведения отличается отсутствием доступа для выполнения гидроизоляционных работ с применением традиционных гидроизоляционных материалов.

Представитель французской компании «SOPREMA» Поль Гинар сделал сообщение о деятельности компании на рынке строительных услуг в России. Компания специализируется на производстве гидро- и теплоизоляционных материалов. Дана подробная информация о разработанной фирмой технологии гидроизоляции сооружений COLPHENE BSW с применением линейки высокотехнологичных рулонных битумно-полимерных гидроизоляционных материалов, состоящих из SBS-модифицированного битумного вяжущего, усиленного сверхпрочной основой (нетка-



Поль Гинар

ный полиэстер). Верхняя сторона материала покрыта специальным адгезионным слоем на основе кристаллов диоксида кремния, а нижняя сторона – полимерной пленкой. Приведены примеры применения этой технологии при строительстве метрополитенов.

О. Б. Крымовым (АО «Мосинжпроект») обобщен опыт по восстановлению водоне-

проницаемости эскалаторных тоннелей из чугунных тубингов на строящихся станциях «Ржевская» и «Шереметьевская». Эскалаторные тоннели возводились с применением активного замораживания грунта, однако его неравномерное оттаивание по длине тоннелей привело к возникновению растя-



О. Б. Крымов

гивающих напряжений в обделке по всей длине наклонного хода, раскрытию швов между тубингами и разрушению ранее выполненной жесткой чеканки швов. Положение усугублялось тем, что активизация движения грунтовых вод привела к размытию замороженного тампонажного раствора. Для устранения возникшей проблемы было предложено применение двух технологических решений, в частности:

- выполнение вуального (мембранного) нагнетания в заобделочное пространство специального разработанного безусадочного тампонажного раствора на основе цементно-вяжущей смеси фирмы BASF с широкими возможностями регулирования сроков схватывания и плотности смеси;
- инъектирование в стыковые соединения полиуретановыми смолами (например, фирмы BASF и Normet), которые при контакте с

водой формируют водонепроницаемое уплотнение в полости этих соединений.

С докладом о современных требованиях обеспечения пожарной безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений выступил руководитель ООО «ПРОЗАСК» С. П. Антонов. Сделан обзор действующих документов, в которых содержатся требования по пожарной безопасности,



С. П. Антонов

приведены примеры обеспечения пожарной безопасности элементов конструкции двухпутных тоннелей метрополитенов.

А. П. Нефедьев (ООО «Синерго») представил участникам форума информацию о применении разработанных и выпускаемых фирмой строительных материалов в метро- и тоннелестроении.

Заключительным мероприятием первого дня форума стало проведение церемонии награждения победителей двух ежегодных конкурсов Тоннельной ассоциации России:

- конкурса «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений»;
- конкурса дипломных работ студентов по проблематике освоения подземного пространства.

Награды участникам конкурса вручались председателем правления Тоннельной ассоциации России К. Н. Матвеевым.

Награды получили победители конкурса дипломных работ выпускники Сибирского государственного университета путей сообщения О. В. Чепурная и Н. Н. Кулаков. К сожалению, победители конкурса из Санкт-Петербурга, Екатеринбурга и Тулы приехать на вручение наград не смогли.

Во второй день форума организаторами мероприятия совместно с АО «Мосметрострой» была проведена техническая экскурсия на две строящиеся станции Северо-Восточного участка Большой кольцевой линии (БКЛ) Московского метрополитена – «Ржевская» и «Шереметьевская».



Обзор выполнен В. В. Внутских  
(Тоннельная ассоциация России)  
по материалам специалистов  
АО «Мосинжпроект»  
Д. С. Конюхова, А. А. Долева,  
А. Г. Полянкина, А. М. Поточиной

#### Участники форума



# ЧТО ОБЕСПЕЧИВАЕТ БЕЗОПАСНОСТЬ КОМПОНЕНТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА?

М. О. Лебедев, ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс»

**В соответствии с Федеральным законом [1]: «В проектной документации может быть предусмотрена необходимость проведения в процессе строительства и эксплуатации проектируемого здания или сооружения мониторинга компонентов окружающей среды (в том числе состояния окружающих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства и эксплуатации проектируемого здания или сооружения), состояния основания, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения проектируемого здания или сооружения, сооружений инженерной защиты».**

Для строящихся объектов метрополитена, которые являются опасными производственными объектами, в составе проектной документации такие мероприятия должны быть предусмотрены. В настоящее время в состав проектной документации при строительстве Московского метрополитена, прошедшей Московскую государственную экспертизу, входит лишь проект наблюдательных станций, в соответствии с которым выполняются геодезические работы за смещением поверхности Земли и за смещением тоннелей метрополитена, попадающих в зону влияния строительства, а также визуальный мониторинг зданий и сооружений. Это работы позволяют определить только факт и величину деформаций, но никак не минимизировать их влияние, и тем более исключить их. Причем частота геодезических измерений составляет от одного раза в день (для зданий в зоне влияния) до одного раза в месяц (для котлованов) – время, за которое могут реализоваться критические деформации. Выполнить прогноз развития деформаций по таким данным невозможно.

За счет непредвиденных расходов частота выполнения геодезических измерений может увеличиваться вплоть до установки роботизированных тахеометров.

Известно, что все деформации, реализуемые на дневной поверхности, зависят от принятой технологии ведения подземных работ и культуры их производства. Поэтому при наличии контроля напряженно-деформированного состояния самих строительных конструкций и вмещающего массива от контура подземного сооружения до дневной поверхности, можно осуществлять своевременную корректировку технологических параметров ведения горнопроходческих работ и давать прогноз деформаций дневной поверхности.

Например, при строительстве котлованов для станций мелкого заложения Московского метрополитена предусматривается геодезический контроль смещений стенок котлована по верхнему контуру (обвязочной балке). Здесь возникает ряд вопросов, среди которых наличие критериев по допустимым ве-



Рис. 1. Оснащение расстрельной системы котлованов датчиками в Турции, г. Стамбул

личинам смещений, а при их наличии и теоретическом превышении – достаточна ли несущая способность конструктивных элементов крепления? Для ответа на этот вопрос весь мир идет по простому пути – после установки расстрелов в проектное положение на типовые расстрелы всех ярусов устанавливаются датчики, позволяющие контролировать не только величины усилий в расстрелах, но и их эксцентриситет. На рис. 1 показано размещение струнных датчиков на расстрелы котлована при строительстве метрополитена в Стамбуле. Получаемая информация с датчиков позволяет регулировать необходимую частоту геодезических измерений, тем самым экономить затраты на мониторинг. Аналогичные системы используются при строительстве котлованов для объектов метрополитена в Санкт-Петербурге.

Еще одним важным параметром для мониторинга котлованов является наличие ин-

формации о пространственном положении ограждающих конструкций, как на момент окончания их возведения, так и в процессе разработки котлованов. Так, например, по опыту строительства станций мелкого заложения в Санкт-Петербурге по технологии «top-down», контроль смещений «стены в грунте» при помощи инклинометрических скважин позволил получить следующую информацию. Заглубление в коренные грунты не гарантирует «защемление» нижней части «стены в грунте». В процессе разработки котлованов происходит ее смещение в сторону оси станции; смещение «стены в грунте» впереди забоя (дна котлована) составляет до 40 % от окончательных величин смещений, формируемых к моменту окончания возведения перекрытия на каждом ярусе.

Нередки случаи, когда после разработки котлована, внутренний контур «стены в грунте» оказывается в габарите будущих по-

стоянных конструкций. В этом случае вырубают внутреннюю поверхность «стены в грунте» для обеспечения «проектного» положения постоянных конструкций. Наличие инклинометрических скважин дает возможность исключить спекуляцию о причинно-следственной связи попадания «стены в грунте» в контур постоянных конструкций и соответственно источнику финансирования «дополнительных» работ.

Большой перечень инструментальных работ выполняется для обеспечения безопасности существующих зданий и сооружений. Не только тех, по которым судят уже о свершившемся влиянии, но и тех, которые позволяют прогнозировать деформации, реализуемые на поверхности. К ним, например, относятся:

- гидрогеологический мониторинг при помощи датчиков порового давления, размещаемых в скважинах;
- скважины с экстензометрами и инклинометрами;
- комплекс геофизических методов.

Размещение таких скважин по трассе перегонных тоннелей позволяет до приближения к существующим зданиям откорректировать технологические параметры ведения работ для минимизации деформаций поверхности. При их размещении вокруг любых подземных сооружений можно фиксировать начало деформационных процессов еще до их реализации на поверхности, их направлении и судить об абсолютных величинах деформаций, которые будут реализованы на поверхности.

Важным вопросом при эксплуатации подземных сооружений метрополитена является механическая надежность несущих

элементов постоянных конструкций. В настоящее время для Московского метрополитена оценка запаса несущей способности конструкций определяется косвенным методом по измерениям конвергенции внутреннего контура, измерению прочностных показателей материала обделок и численно-эмпирическими методами.

Но есть другой путь – оснащение контрольно-измерительной аппаратурой конструкций и обделок подземных сооружений при их возведении. В таком случае можно получить информацию о величинах усилий, сформированных в конструкциях на всех этапах их возведения, а затем и от всех эксплуатационных нагрузок. При этом у эксплуатирующей организации будут иметься абсолютные величины напряженно-деформированного состояния несущих конструкций, которые позволяют прогнозировать техническое состояние конструкций. На рис. 3 показано оснащение датчиками поперечного сечения станционного узла мелкого заложения, а на рис. 4 – обделки двухпутного перегонного тоннеля, построенного в Санкт-Петербурге. К моменту передачи контрольно-измерительной аппаратуры, установленной в обделках и строительных конструкциях, целесообразно ее подключать к автоматизированным системам, по-

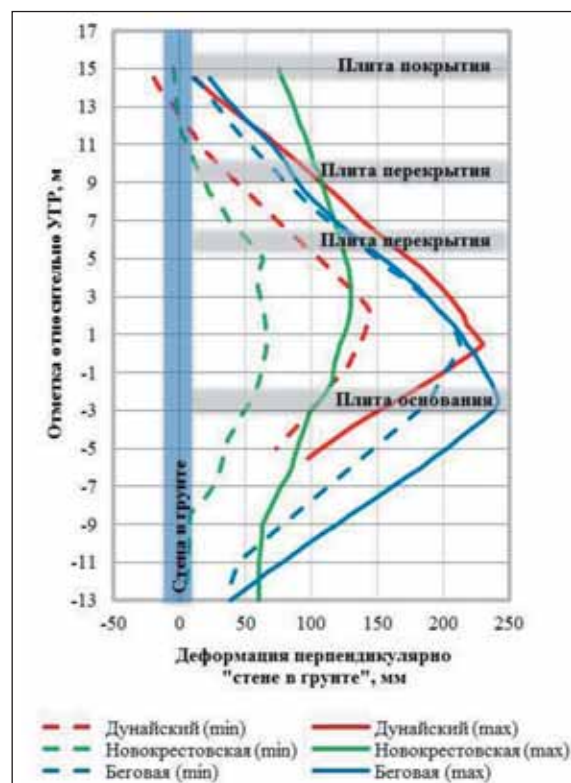
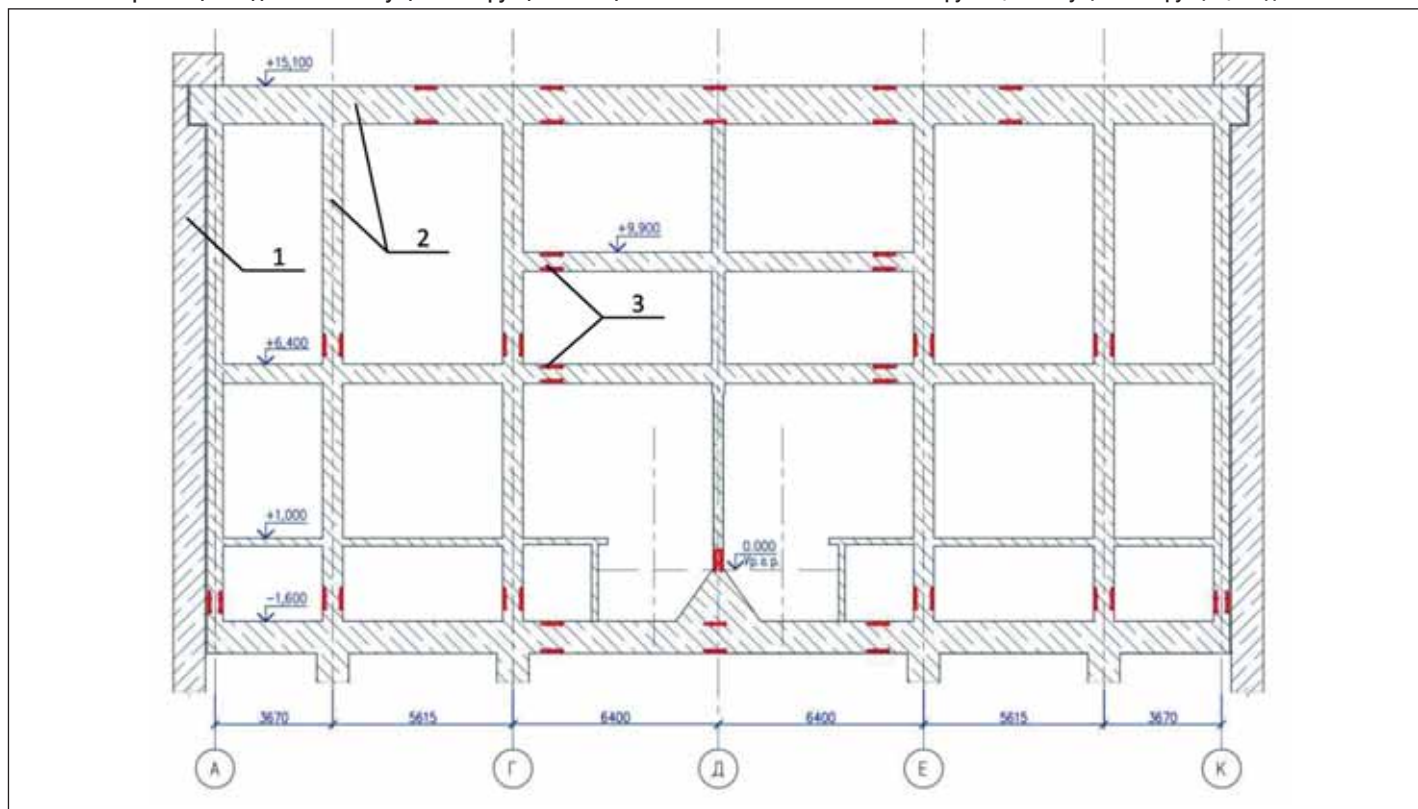


Рис. 2. Графики горизонтальных смещений «стены в грунте» при строительстве по технологии «top-down»

зволяющим обрабатывать и накапливать базу данных на выделенных серверах.

Решение такой задачи является крайне актуальной: в процессе долгосрочной эксплуатации транспортных тоннелей и станционных комплексов постепенные разрушения, повреждения и деформации, вызванные длительно проявляющимися геотехнически-

Рис. 3. Схема размещения датчиков в несущих конструкциях станции мелкого заложения: 1 – «стена в грунте»; 2 – несущие конструкции; 3 – датчики



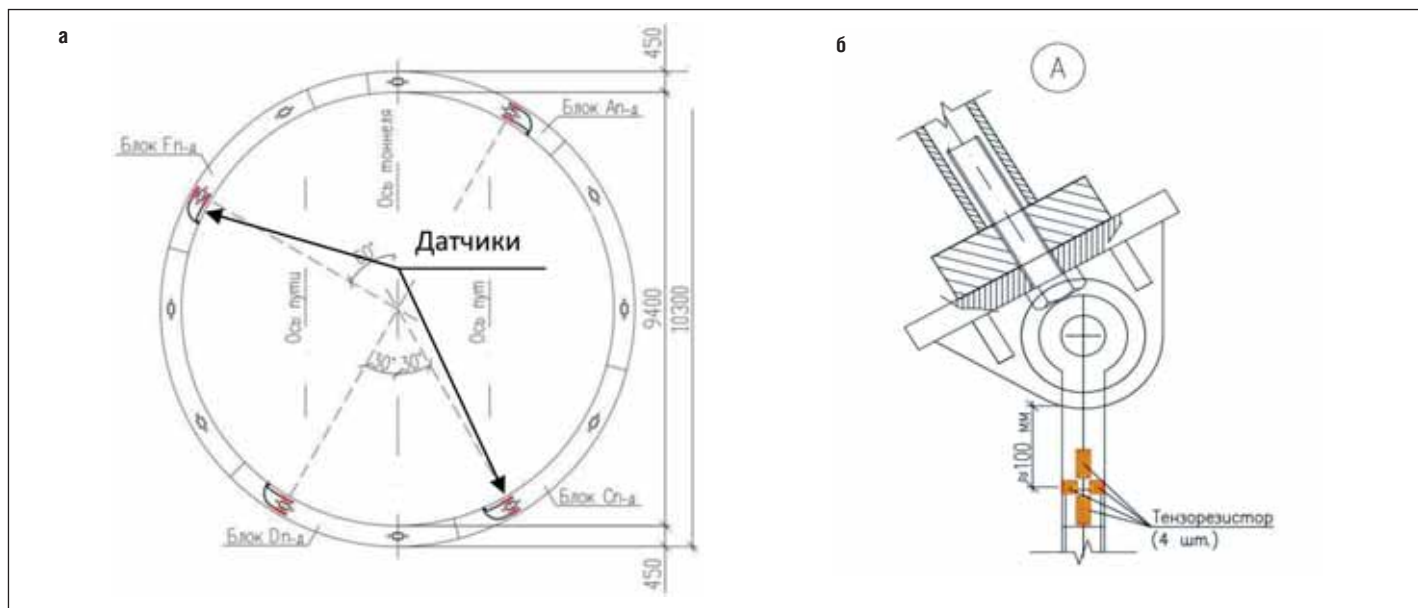


Рис. 4. Схема размещения датчиков: а – в обделке двухпутного перегонного тоннеля; б – на тягах подвешного перекрытия

ми и техногенными факторами, равно как внезапные разрушения и повреждения конструкций приводят к невозможности дальнейшей эксплуатации сооружений и требуют их незамедлительного ремонта или реконструкции. Появляются и новые «современные» факторы, осложняющие эксплуатацию тоннелей и метрополитенов, например, террористические акты, разрушение тоннелей сваями при проведении строительных работ на земной поверхности и др.

Так что же мешает применять, казалось бы, уже давно известные и эффективные методы мониторинга для обеспечения безопасности компонентов окружающей среды в процессе строительства и эксплуатации сооружений? Как бы банально это ни звучало, но это в первую очередь «терминология». В вышеупомянутом законе [1] слова «может быть предусмотрено» могут трактоваться, что могут и не предусматриваться. Для Федерального закона такая двоякость формулировки для опасных производственных объектов все-таки недопустима.

В другом Федеральном законе [2], следующие требования к проектной документации: «Проектная документация... опасных производственных объектов...», особо опасных, технически сложных, уникальных объектов, ... должна содержать... перечень мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера». С одной стороны, требование предельно ясное – должны присутствовать системы контроля, а с точки зрения заказчика строительства и экспертизы – достаточно соблюсти требования нормативных документов в части строительных конструкций и технологии ведения работ при наличии геодезического мониторинга, при этом о «Рисках» при таком подходе думать не принято. К сожалению, многочисленные нештатные ситуации, о которых известно только узкому кругу лиц, «проще» решать за счет непредвиденных расходов.

В постановлении Правительства Российской Федерации [3]: Мероприятия по охране окружающей среды должны содержать перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации линейного объекта, включающий:

- программу производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения всех компонентов экосистемы при строительстве и эксплуатации линейного объекта, а также при авариях на его отдельных участках;
- программу специальных наблюдений за линейным объектом на участках, подверженных опасным природным воздействиям.

Отсутствие конкретики в таких формулировках Федеральных законов не позволяет доказать в Московской государственной экспертизе необходимость применения тех или иных методов мониторинга.

Ясность в этот вопрос вносят многочисленные нормативные документы, такие как СП, СНиПы, ГОСТы, ТСНы, МГСНы, методические пособия и рекомендации, научная литература и монографии, каждый в своем объеме. Но в то же время они, в большинстве своем, носят только рекомендательный характер, легко «отмечаемый» экспертизой.

А формулировка термина, под которым должны решаться все задачи мониторинга, тоже не имеет единого знаменателя. Присутствуют различные наименования, используемые инженерами и учеными:

- мониторинг;
- геотехнический мониторинг;
- горно-экологический мониторинг;
- комплексный мониторинг;
- локальный мониторинг;
- структурированный мониторинг;
- автоматизированный мониторинг;
- научно-техническое сопровождение и пр.

И даже один из последних документов по мониторингу при строительстве подземных сооружений [4], разработанный специально для Москвы по заказу Департамента градостроительной политики города Москвы и утвержденный заместителем мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства М. Ш. Хуснуллиным, для Московской государственной экспертизы не является руководством для требования наличия в проектной документации методов мониторинга, кроме геодезического контроля.

Вопрос о повышении безопасности при строительстве Московского метрополитена поднимается уже не в первый раз. Технические заседания по данной тематике проводились при ГАУ «Мосгосэкспертиза» и Департаменте строительства города Москвы, но до сегодняшнего дня мероприятия, которые бы давали заблаговременную оценку влияния на «все компоненты окружающей среды» при строительстве и эксплуатации Московского метрополитена остаются за рамками проектной документации.

#### Список литературы

1. Федеральный закон Российской Федерации от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
2. «Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 07.03.2017).
3. Постановление № 87 от 16 февраля 2008 г. о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию.
4. Технические рекомендации по автоматизированному геотехническому мониторингу зданий и сооружений при освоении подземного пространства в городе Москве. НИЦ ТА. Москва. 140 с.

#### Для связи с автором

Лебедев Михаил Олегович  
lmg@lenmetro.ru

# ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ЗАБОЙНАЯ КРЕПЬ ИЗ ФИБЕРГЛАСОВЫХ НАГЕЛЕЙ

## LEADING BOTTOM FASTENER FROM FIBERGLASS NAGELS

Л. В. Маковский, к. т. н., профессор МАДИ, кафедра мостов, тоннелей и строительных конструкций

В. В. Кравченко, к. т. н., доцент МАДИ, кафедра мостов, тоннелей и строительных конструкций

L. V. Makovsky, Prof. PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MAD I, Russia

V. V. Kravchenko, PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MAD I, Russia

Анализируется опыт и перспективы использования фиброгласовых нагелей в качестве опережающей забойной крепи в тоннелестроении. Рассматривается сущность технологии, область применения и основные технологические параметры. Приводится успешный мировой опыт проектирования и строительства тоннелей с применением данной технологии. Анализируются исследования аспиранта кафедры мостов и тоннелей МАДИ напряжённо-деформированного состояния системы «опережающая крепь из фиброгласовых нагелей – грунтовой массив» на различных этапах проходки тоннеля. Отмечаются перспективы использования данной технологии в отечественной практике тоннелестроения.

*The experience and prospects of using fiberglass dowels as an advanced face support in tunneling are analyzed. The essence of the technology, the area of application and the main technological parameters are considered. The successful world experience in the design and construction of tunnels using this technology is presented. The research of the postgraduate student of the Department of Bridges and Tunnels of MAD I of the stress-strain state of the system «leading support made of fiberglass dowels – soil mass» at various stages of tunneling is analyzed. The prospects of using this technology in the domestic practice of tunneling are noted.*

Дальнейшее развитие тоннелестроения обуславливает необходимость совершенствования существующих и внедрение инновационных конструктивно-технологических решений и методов расчёта с использованием современных компьютерных технологий.

Основное внимание следует уделять вопросам сооружения тоннелей в сложных условиях, характеризующихся плотной городской застройкой, густой сетью инженерных коммуникаций, наличием нарушенных слабоустойчивых и неустойчивых грунтов, проявлением карстовых деформаций, сейсмических воздействий и пр. [1].

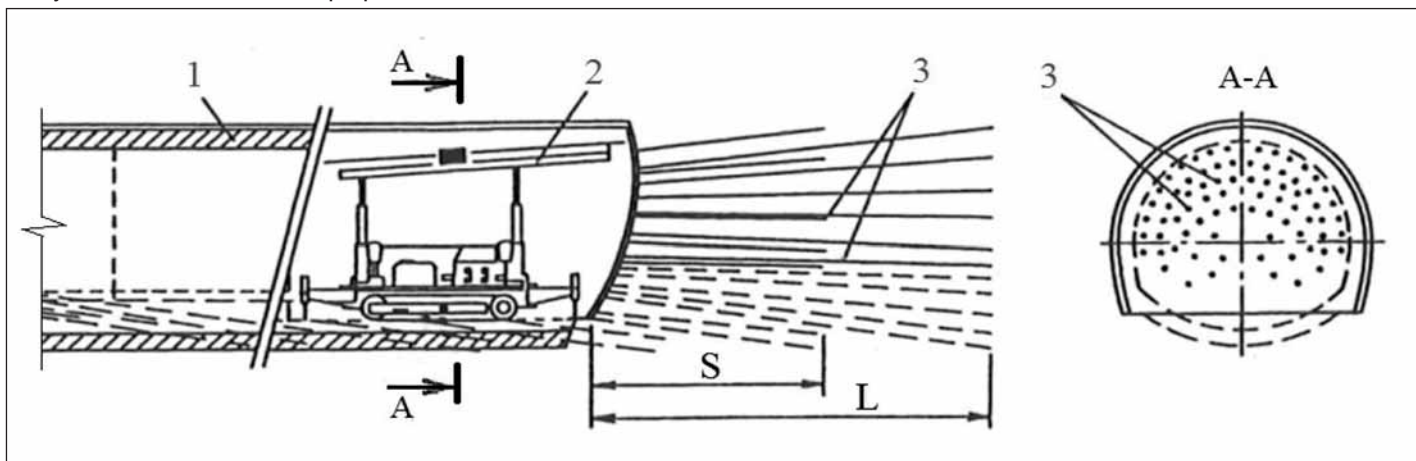
В таких условиях большое значение приобретает выбор и назначение параметров временной крепи, обеспечивающей устойчивость грунтового массива и огра-

ничение деформаций поверхности земли, зданий и сооружений в процессе строительства тоннеля.

В последнее время при строительстве тоннелей горным способом в слабоустойчивых грунтах наряду с контурной крепью (арки, анкеры набрызг-бетонные покрытия) получила распространение опережающая забойная крепь – превентивная мера, обеспечивающая устойчивость лба забоя и предотвращающая возможные вывалы и обрушение грунта.

Применение в качестве опережающей забойной крепи стальных стержней или закреплённого грунта (замораживание, химическое закрепление, струйная цементация) сопряжено со значительными технологическими трудностями, удлинением сроков и повышением сложности строительства.

Рис. 1. Технологическая схема закрепления грунтового массива фиброгласовыми нагелями: 1 – тоннель; 2 – буровой агрегат; 3 – фиброгласовые нагели; S – глубина заходки; L – длина зоны армирования





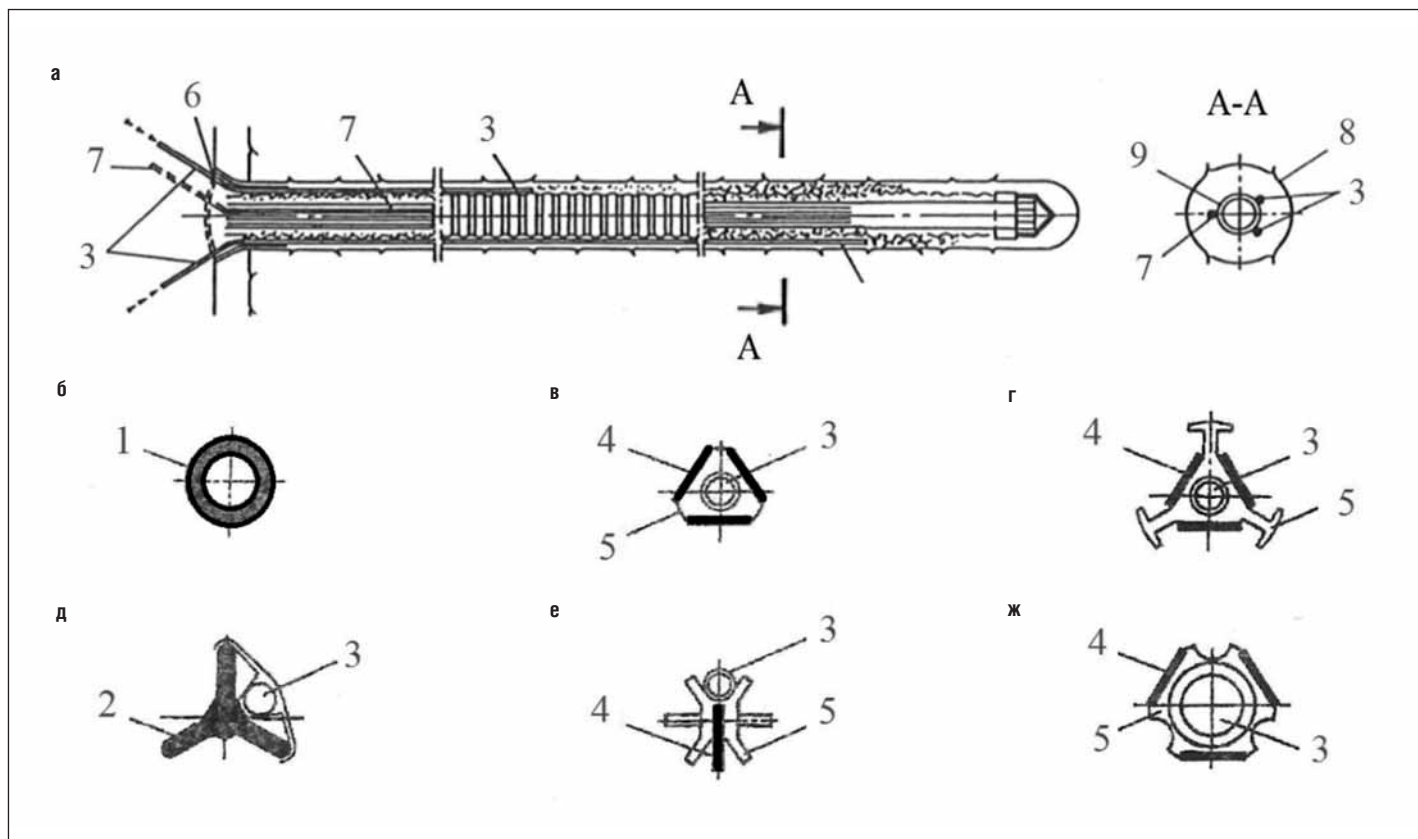


Рис. 2. Конструкция армирующих фибергласовых элементов: а – продольный разрез с поперечным сечением; б–ж – варианты поперечных сечений; 1 – трубчатый элемент; 2 – Y-образный элемент; 3 – трубка для инъектирования; 4 – плоский элемент; 5 – кондуктор; 6 – пробка из расширяющегося пластического материала; 7 – трубка для отвода воздуха; 8 – скважина; 9 – фибергласовая трубка

Наиболее гибкой и адаптивной к изменяющимся инженерно-геологическим условиям следует считать опережающую забойную крепь из фибергласовых нагелей.

### Применение фибергласовых нагелей

Опережающая забойная крепь из фибергласовых нагелей была разработана и внедрена в конце прошлого века в Италии [2]. Её сущность заключается в том, что из забоя строящегося тоннеля равномерно по всей его площади забуривают систему горизонтальных и слабо наклонных скважин, в которые помещают фибергласовые элементы различной конструкции и инъектируют стабилизирующий состав, чаще всего цементный раствор (рис. 1).

Длина зоны армирования составляет 15–18 м и более, превышая глубину заходки.  $S = (1,0–1,5)D$ , где  $D$  – диаметр тоннеля. Лбу забоя придают вогнутую форму для реализации арочного эффекта. Через закрепленный таким образом грунтовый массив ведут проходку тоннеля способом сплошного забоя, срезая фибергласовые элементы рабочим органом тоннелепроходческой машины. Из вновь образованного забоя забуривают следующую серию скважин и устанавливают армирующие элементы, обеспечивая перекрытие ранее установленных элементов на 5–6 м.

Основным достоинством данной технологии является возможность вести проходку тоннеля в грунтах, где способ сплошного забоя не применим из-за недостаточной устойчивости грунтового массива, а также использование высокопроизводительного тоннелепроходческого оборудования.

В настоящее время в практике тоннелестроения применяют различные профили армиру-

ющих фибергласовых нагелей: гладкие и гофрированные трубчатые, Y-образные и плоские, закрепленные на специальных кондукторах и объединенные с трубками для инъектирования и отвода воздуха (рис. 2).

Основные параметры трубчатых элементов:

- диаметр 40–60 мм,
- толщина стенки 10 мм,
- длина 15–25 м,
- плотность распределения по плоскости забоя 0,35–0,50 ед/м<sup>2</sup>,
- перекрытие элементов соседних заходок 5–6 м.

Эффективность технологии подтверждается успешным опытом проектирования и строительства многочисленных тоннелей в Италии, Франции, а также базисных Альпийских тоннелей. В Италии на железнодорожной линии Флоренция – Аrezzo было пройдено более 11 км тоннелей [2]. Проходка велась в сложных инженерно-геологических условиях и продемонстрировала надёжность фибергласовых нагелей и устойчивость армированного грунтового массива.

Построены шесть тоннелей на скоростной железнодорожной линии Рим – Флоренция. Тоннели условным диаметром 7 и 13 м и длиной от 0,7 до 2,7 км заложены в супесчаных и илистых грунтах на глубине 50–90 м от поверхности земли. В четырёх тоннелях ограничились армированием зоны перед забоем фибергласовыми трубчатыми нагелями длиной 15 м, а в двух тоннелях эту крепь применяли в сочетании с опережающей бетонной крепью.

В тоннелях диаметром 7 м устанавливали по 25 нагелей, а диаметром 13 м – по 50–60 нагелей на заходку. При этом плотность распределения составля-

ла соответственно 0,35 и 0,43–0,51 ед/м<sup>2</sup>. Средняя скорость проходки способом сплошного забоя достигала 50 м/мес.

Введён в эксплуатацию железнодорожный тоннель Сан Виталия на линии Гасерта – Фоджия. Тоннель длиной 2,5 км и диаметром 12,7 м заложен в глинистых грунтах на глубине 100 м от поверхности земли. При проходке тоннеля сплошным забоем использовали опережающую крепь из фибергласовых нагелей по контуру выработки и в забое. На одну заходку приходилось 50 элементов с плотностью распределения 0,41 ед/м<sup>2</sup>.

С применением плоских армирующих фибергласовых нагелей длиной 25 м был пройден 120-метровый станционный тоннель Римского метрополитена [2]. Работы вели в глинах и песчаных илах на сравнительно небольшой глубине (22 м) от поверхности.

Недавно в Италии завершено строительство шести тоннелей общей протяжённостью 12 км и трёх соединительных камер на железнодорожной линии Генуя – Волтри [3]. Тоннели заложены на глубине до 220 м от поверхности земли в слабоустойчивых полускальных грунтах.

При проходке тоннелей широко использовали фибергласовые нагели длиной 15 м.

Во Франции при строительстве железнодорожного тоннеля длиной 900 м и условным диаметром 15 м по скоростной линии TGV Марсель – Лион для стабилизации грунтового массива перед забоем тоннеля использовали плоские фибергласовые нагели длиной 24 м. На каждую проходку приходилось 90 нагелей; плотность распределения составляла 0,5 ед./м<sup>2</sup>, скорость проходки – 1,5 с/сут. [3].

Применение фибергласовых нагелей имело место в строительстве крупнейших базисных Альпийских тоннелей: Сен-Гетард длиной 57 км, Летчберг длиной 36 км и Зиммерберг длиной 21 км [4].

Для установления оптимальных параметров фибергласовых нагелей, работающих совместно с окружающим грунтовым массивом, проводятся теоретические исследования и расчеты с использованием метода конечных элементов, на основе которого разработаны плоские и пространственные модели. В процессе строительства тоннелей выполняют мониторинг напряженно-деформированного состояния грунтового массива и армирующих нагелей, измеряют осадки поверхности земли и конвергенцию контура выработки. По результатам теоретических и экспериментальных исследований устанавливают закономерности взаимодействия армирующих нагелей с грунтовым массивом и корректируют основные конструктивно-технологические параметры.

На кафедре мостов и тоннелей МАДИ аспирантом Эслами Варнамахсти Маджид под научным руководством профессора Л. В. Маковского были проведены исследова-

ния методом математического моделирования напряженно-деформированного состояния системы «опережающая крепь из фибергласовых нагелей – грунтовой массив» на различных этапах проходки тоннеля [5].

Была разработана пространственная объёмная конечно-элементная модель и выполнены серии расчётов с использованием программного комплекса «Cosmos/M».

Анализ результатов численных экспериментов с использованием тренд-анализа позволил получить обобщённые зависимости изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива от варьируемых геометрических и конструктивно-технологических факторов.

Показано, что армирование зоны забоя фибергласовыми нагелями с последующим инъецированием в грунт цементного раствора снижает нормальные напряжения в грунте перед забоем в ~2 раза, уменьшает горизонтальное перемещение (вдоль оси тоннеля) лба забоя по сравнению с исходным состоянием на 87–95 %. Это позволяет избежать вывалов грунта во время проходки, стабилизирует забой и даёт возможность вести проходку тоннеля в слабоустойчивых грунтах методом сплошного забоя.

Исследование длины фибергласовых нагелей на эффективность применения крепи показало, что максимальное (~2 раза) снижение горизонтальных перемещений грунта в зоне забоя достигается при длине нагелей (1–1,5)D, где D – диаметр тоннеля. При длине менее 0,5D эффект крепления становится незначительным. Оптимальный эффект при армировании забоя достигается при плотности распределения нагелей 0,4–0,7 ед/м<sup>2</sup>.

Установлено, что с увеличением глубины заложения тоннеля с 2D до 3D горизонтальные перемещения в призабойной зоне возрастают на ~20 %, а с 3D до 4D – ещё на ~17 %.

Результаты исследований на пространственной математической модели свидетельствуют о том, что степень эффективности опережающей крепи из фибергласовых нагелей повышается с уменьшением прочности грунта, причём максимальный эффект достигается в крепких грунтах с модулем деформации  $E_0 = 1,5 \times 10^6$  кН/м<sup>2</sup>, при плотности распределения фибергласовых нагелей 0,7 ед/м<sup>2</sup>.

### Заключение

Применение опережающей крепи из фибергласовых нагелей позволяет:

- вести проходку крупнопролетных выработок способом сплошного забоя в слабоустойчивых грунтах с применением однотипного высокопроизводительного оборудования, обеспечивая безопасность и высокие темпы работ;

- использовать рассматриваемый метод в широком диапазоне инженерно-геологических условий путем варьирования параметрами нагелей (формой поперечного сечения, длиной, перекрытием соседних заходок полностью на 1 м<sup>2</sup> площади забоя) и выполняя систематический мониторинг напряженно-деформированного состояния грунтового массива;

- свести к минимуму сдвиги и деформации грунтового массива и поверхности земли в процессе проходки тоннеля на глубине более 5–8 м за счет стабилизации грунтового массива в предзабойной зоне;

- применять фибергласовые нагели в сочетании с опережающей контурной крепью из анкеров, экранов из труб, бетонных сводов, грунта, закрепленного струйной цементацией. Разработаны высокопрочные сплошные и трубчатые армирующие нагели различной формы из композитных материалов, обеспечивающие упрочнение грунтов инъецированием и легко разрушающиеся при проходке [7].

Дополнительные затраты на изготовление и установку армирующих нагелей окупаются вышеуказанными достоинствами технологии, которую целесообразно использовать в нашей стране при строительстве тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях.

### Ключевые слова

Тоннель, обделка, лоб забоя, устойчивость, опережающая забойная крепь, фибергласовый нагель.

Tunnel, lining, face, stability, leading face support, fiberglass dowel.

### Список литературы

1. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. *Строительство автотранспортных тоннелей в сложных условиях*. – М.: Кнорус, 2019, 276 с.
2. *Proceeding ob Aites – ITA 2011. World Tunnel Congress/ Vol II – Milan – Italy 2011*. – P. 309–322.
3. Маковский Л. В., Чеботарёв С. В., Сула Н. А. *Инновационные конструктивно-технологические решения в транспортном тоннелестроении*. – М.: Информатодор, 2005, 104 с.
4. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. – 2006. – 29, № 4. – P. 203–210.
5. Эслами Варнамахсти Маджид. *Применение фибергласовых элементов для стабилизации тоннельного забоя в слабоустойчивых грунтах*. «Транспорт. Наука, техника, управление». – М.: ВИНТИ, 2004, № 4. – С. 37–39.
6. *World Tunneling*. 2010. – 13, № 5. – 253р.

### Для связи с авторами

Маковский Лев Вениаминович  
tunnels@list.ru  
Кравченко Виктор Валерьевич  
609vkv@gmail.com



# ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В АБРАЗИВНЫХ ГРУНТАХ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ

## EXPERIENCE IN PREDICTION AND MONITORING OF THE CUTTING TOOL WEAR IN ABRASIVE SOILS WITH MECHANIZED SHIELD TUNNELING

А. С. Вознесенский, д. т. н., проф. НИТУ МИСиС

С. В. Мазеин, д. т. н., РУТ (МИИТ)

Г. В. Данилов, РУТ (МИИТ)

A. S. Voznesenskiy, Dr. Sci. (Engineering), Full prof., NUST MISiS

S. V. Mazein, Dr. Sci. (Engineering), Russian University of Transport

G. V. Danilov, Russian University of Transport

Данной рубрикой продолжаем периодическую публикацию кратких описаний актуальных исследований в области технологий проходки тоннельными буровыми машинами (ТБМ), начатых в нашем журнале (№ 4 за 2018 г. [1] и № 1 за 2019 г. [2]). Представленные ниже аннотационные заметки из десяти стран мира посвящены отечественным и зарубежным работам по анализу щитовой проходки ТБМ в основном для несвязных грунтов, в частности, рассматриваются: выбор концепции режущего инструмента, прогнозирование и мониторинг износа режущего инструмента, тесты на абразивность грунтов.

*With this rubric, we continue the periodic publication of brief descriptions of current research in the field of tunnel boring machine (TBM) technologies, begun in our journal (No. 4 for 2018 [1] and No. 1 for 2019 [2]). The annotation notes presented below from 10 countries of the world are devoted to domestic and foreign works on the analysis of shield penetration of TBM mainly for in cohesive soils, in particular, they consider: the choice of the concept of cutting tools, forecasting and monitoring of cutting tool wear, tests for abrasiveness of soils.*

### 1. ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

#### 1.1. Оптимизация оснащения ротора (Россия) [3]

Представлены разработанные на основе исследований и анализа статистических данных строительства крупных тоннелей в Москве методики и графоаналитические зависимости по оптимизации оснащения роторов и периодичности замены режущего инструмента щитовых комплексов.

Анализ закономерностей расхода резцов и шарошек проведен по статистическим данным их замен и результатам измерения степени износа шарошек специальными лекалами во время «кессонных» смен. Полученные данные были рассортированы по месту установки резцов (рис. 1), а также по типу разрабатываемой породы и пути, пройденному инструментом между заменами в системе взаимодействия «грунт – резец».

При анализе принято, что примерно постоянные показатели скорости вращения ротора (0,9–1,1 об/мин) и толщины стружки (2–3 см/об) не влияют на износ. Статистика замен резцов на большом роторе, прослеживающая число замен и интервалы между ними, получена при проходке тоннелей в Ле-

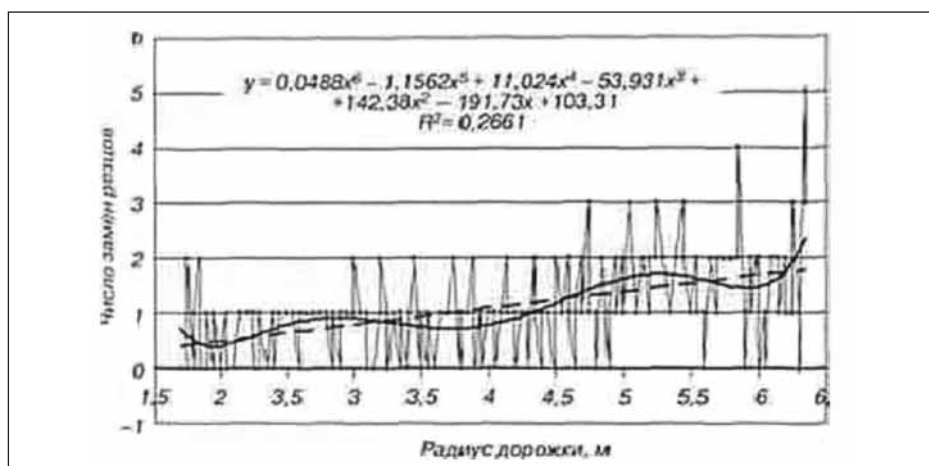


Рис. 1. Число замен резцов от радиуса дорожки

фортово и Серебряном Бору и показывает нелинейно возрастающий износ при увеличении интервалов между обслуживающими резцы сменами. Не замененный вовремя разрушенный резец приводит к снижению ресурса обратного резца на данной дорожке и на соседних, начинающих воспринимать дополнительную нагрузку при резании. Квадратичные зависимости износа (числа замен) от интервалов замен получены как для связного, так и несвязного грунтов, для про-

ходческих щитов трех проектов, со средней величиной аппроксимации = 0,82.

На основании полученных зависимостей авторами разработаны методические рекомендации по определению оптимальных интервалов замены резцов при щитовой проходке тоннелей в связных и несвязных грунтах, с учетом уровня организации работ по замене резцов, стоимости «кессонного» рабочего дня, цены резца, а также стоимости аренды импортного тоннелепроходческого комплекса.

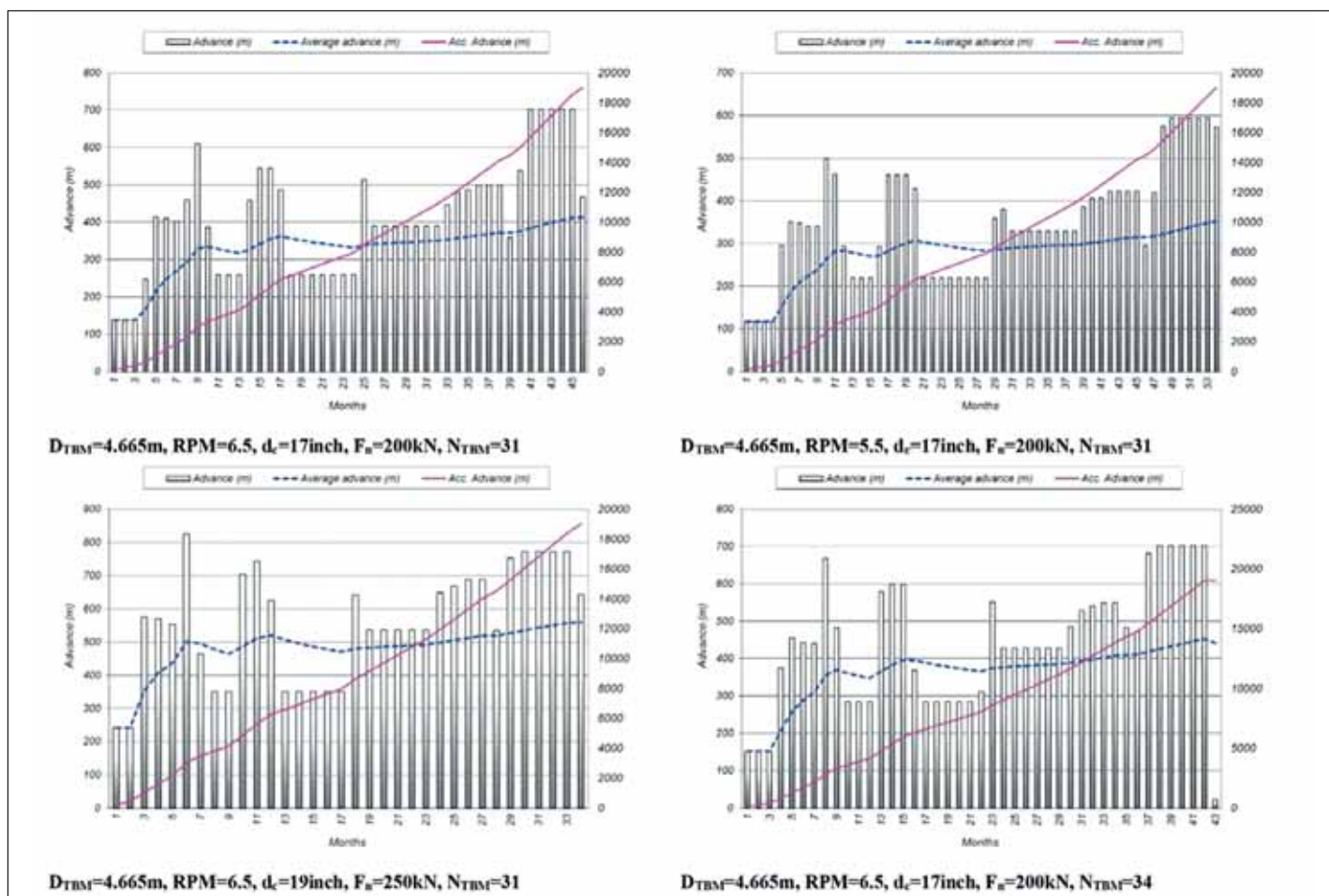


Рис. 2. График строительства для некоторых выбранных сценариев

### 1.2. Опыт проходки линии 1 метро Анваз под рекой Карун (Турция) [4]

Линия 1 метро Ahwaz строится с использованием двух машин EPB ТБМ. Эта линия метро соединяет северо-восточную часть с юго-западной частью города, состоит из двух тоннелей длиной 23 км с 24 станциями. Линия возводится в сложных геотехнических условиях и высоком уровне грунтовых вод. В середине маршрута тоннели пересекают самую большую реку Ирана – Карун. Недавно, при специальной подготовке, одна из машин пересекла реку и следующая машина готовится к тоннельной проходке.

В настоящей статье представлены этапы геотехнических исследований, расчеты давления забоя, специальные механизмы повышения производительности системы дренажа и повышения безопасности для борьбы с потенциальными опасностями, связанные с проходкой тоннеля под рекой. Кроме того, были пересмотрены результаты проходки тоннелей под коммерческими зданиями в старом городе. Была оценена эффективность выбранной машины для проходки тоннеля под рекой, перед которой была проведена частичная замена одного вида инструмента на другой – дисковых шарошек на стержневые резцы (рипперы) во избежание неравномерного износа шарошек из-за останков их вращения в рыхлых грунтах под рекой.

### 1.3. Оптимизационное проектирование ротора ТБМ для применения в очень крепких и абразивных породах, тематическое исследование водоотводного тоннеля Керман (Иран) [5]

Керманский водоотводный тоннель (KrWCT) расположен в центральной части Ирана. Тоннель строится как на северном, так и на южном порталах с использованием двух отремонтированных ТБМ. Для проходки северной части была задействована машина с двойным щитом, которая использовалась в горах Альборз на севере Ирана. Геологические условия KrWCT сильно отличаются от предыдущих тоннелей, и длинный участок тоннеля пройдет через массивные, очень прочные и абразивные породы. Предварительные исследования выявили необходимость улучшения старой машины, в частности ее конструкции ротора и расположения дисковых шарошек на забурнике. В настоящей статье оценивается влияние конструкции ротора и различных эксплуатационных параметров на толщину стружки и скорость работы машины с использованием эмпирических моделей прогнозирования производительности. Кроме того, для соответствия геологической обстановке тоннеля KrWCT предлагается заложить оптимальные параметры конструкции ротора. В конце концов, влияние изменений на бурение обсуждается путем сравнения производительности но-

вого ротора и оригинального забурника в двух коротких разделах (рис. 2).

## 2. ТЕСТЫ НА АБРАЗИВНОСТЬ

### 2.1. Испытания на абразивность с тестом Cerchar – оценка условий тестирования (Германия) [6]

Принцип тестирования основан на стальном штифте с определенной геометрией и твердостью, которая царапает поверхность скального образца породы на расстоянии 10 мм при статической нагрузке 70 Н (рис. 3). Cerchar-Abrasivity-Index (CAI – индекс абразивности Церчар) затем рассчитывается из измеренного диаметра полученной плоскости износа на штифте.

### 2.2. Применимость индекса абразивности Cerchar к разрабатываемым скальным грунтам (США) [7]

В статье предлагается применение одной из самых полезных процедур тестирования породы, тест абразивности Cerchar для прогнозирования скорости износа головки резца и зуба экскаваторного ковша при земляных работах, особенно в скале. Эти прогнозы позволяют осуществить оптимальный выбор резцов, коэффициентов их замены и планирование их обслуживания. Индекс абразивности Cerchar (CAI) используется уже более десяти лет в области тоннелестроения. Он имеет хороший послужной список прогнозирования износа резцов на тоннельных буровых маши-

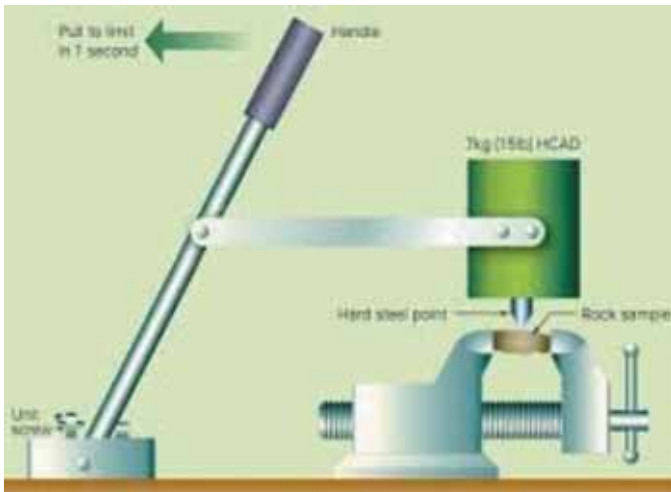


Рис. 3

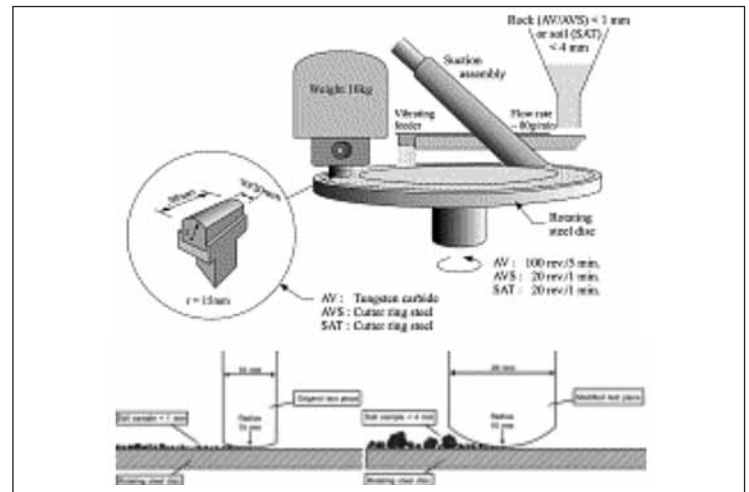


Рис. 4. Испытания методом SAT™

нах (ТБМ). САI становится все более популярным по сравнению с другими методами тестирования пород, например, с испытанием на сжатие (UCS) из-за своей простоты, скорости, низкой стоимости и возможности использования гораздо меньших образцов.

Предлагается применение одной из самых полезных процедур тестирования породы, тест абразивности Serchar для прогнозирования скорости износа головки резака и зуба экскаваторного ковша при земляных работах, особенно в скале. Эти прогнозы позволяют осуществить оптимальный выбор резаков, коэффициентов их замены и планирование их обслуживания.

Содержится обзор процедур САI, ориентированных на земляные работы, по сравнению с другими методами испытаний породы, обзор включает данные САI, полученные автором на зернистых породах Майами (песчаник и известняк) с целью оптимизации земляных работ в порту Майами.

Горнодобывающая и тоннелестроительная промышленность определяет скорость износа скоростью потери металла из инструмента, или «буровой ресурс резака», выраженной в разработанных кубических метрах грунта на резец (м³ разработанного грунта на шт.). Табл. 1 показывает скорость износа, используемую для расчета потребления инструмента.

Тип износа представляет интерес для подрядчиков:

- первичный износ, который является ожидаемым износом от обычных земляных работ, что позволяет замены через соответствующие промежутки времени;
- вторичный износ, который оказывается незапланированным и обычно происходит, когда основной износ является чрезмерным или неожиданным и может привести к внезапному отказу.

### 2.3. Обзор и оценка теста NTNU/SINTEF (SATM) на абразивность грунта для определения абразивности смешанного и мягкого грунта (Норвегия) [8]

Измерение абразивности грунта для оценки ресурса режущего инструмента

становится все более необходимым для больших тоннелей с ограниченным доступом для выполнения мероприятий по ремонту инструмента в подземных условиях. Ресурс режущего инструмента является одной из основных статей затрат на прогрессивные способы проходки тоннеля. Цель исследований состоит в том, чтобы объяснить последствия тоннелестроения в абразивном и мягком грунте, а также пояснить со стороны университета NTNU/SINTEF анализ грунта методом SAT™, который является одним из подходов для измерения абразивности грунта. В настоящих исследованиях было протестировано и включено в обсуждение применимости процедуры SAT™ в общей сложности 254 различных образца грунта (глина, ил, песок и гравий) из восьми различных стран (рис. 4). Кроме того, в статье значения испытаний SAT™ соотнесены с широко известными трибологическими теориями в отношении износа, а также представлены тенденции и корреляции между измеренными SAT™ значениями и измерениями ресурса резаков, рипперов и дисковых шарошек в общей сложности по девяти завершенным тоннелям с ТБМ.

### 2.4. Экспериментальное исследование свойств грубозернистого грунта, влияющих на его абразивность (Италия) [9]

В статье представлены избранные результаты исследования износа инструмента для механизированного тоннелестроения в грубозернистом грунте. Было проведено несколько лабораторных испытаний на истирание грунтом, и результаты коррелировали с минералогическим составом, формой и шероховатостью поверхности и кривой размера зерен грунта (рис. 5). Анализ результатов четко подтверждает хорошо известную корреляцию между абразивностью грунта и содержанием кварца, может количественно оценить соответствующее влияние размера и шероховатости зерна для испытанного грунта. Также сообщаются и обсуждаются результаты, полезные для количественной оценки положительного эффекта от добавления различных химических агентов, впрыскиваемых в виде пены в процессе, известном как кондиционирование грунта, обычно выполняемом при механизированной проходке тоннеля с использованием тоннельных буровых машин для минимизации потребления инструмента с технологией грунтового давления.

Таблица 1

Классификация скорости износа резака

Скорость износа резака	м³ грунта / резец	Ресурс резака
очень низкая	> 2 000	очень высокий
низкая	1 500 до 2 000	высокий
средняя	1 000 до 1 500	средний
высокая	500 до 1 000	низкий
очень высокая	200 до 500	очень низкий
экстремально высокая	< 200	экстремально низкий

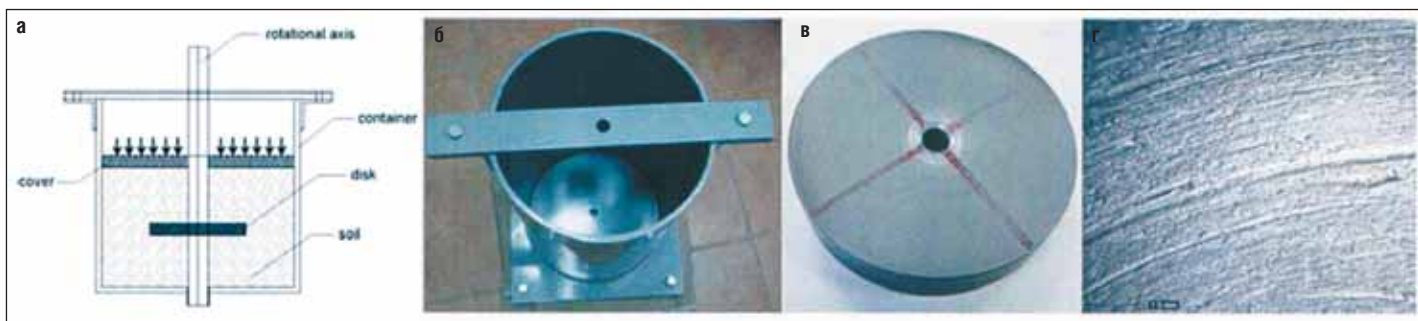


Рис. 5. Тест на истирание грунтом: а – аппаратура теста на абразивность, б – цилиндрический контейнер, в – алюминиевый диск, г – расход диска

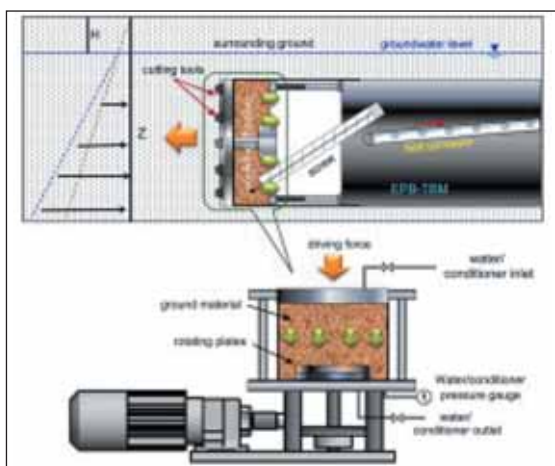


Рис. 6. Камера тестирования абразивности грунта (SATC)

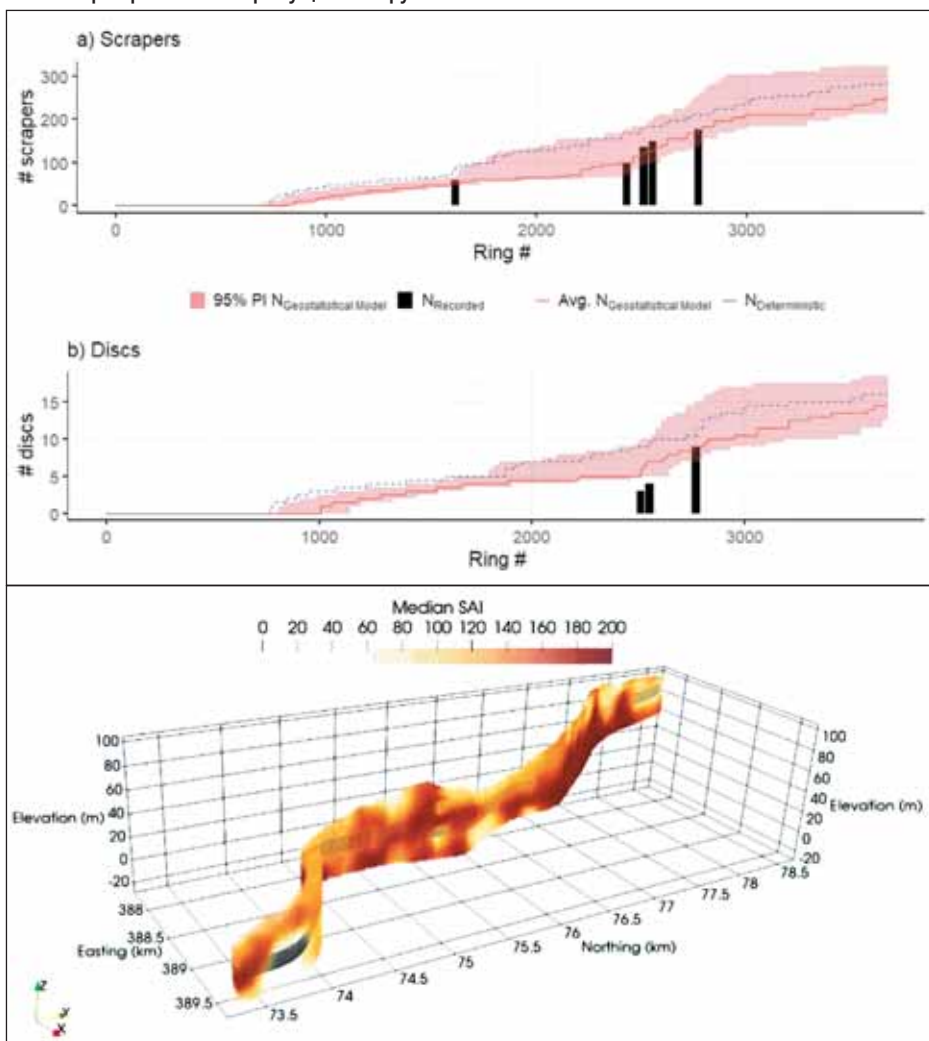
### 3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

#### 3.1. Параметрическое исследование абразивности грунта для прогнозирования проблемы износа ТБМ в тоннельных проектах (Иран) [10]

Отсутствие надежных методов оценки абразивных свойств грунта и выявление влияния различных параметров на скорость износа в настоящее время рассматривается как недостаток в геотехническом исследовании при технико-экономическом обосновании, проектировании и строительстве этапов тоннельных проектов с использо-

ванием тоннельной буровой машины (ТБМ). Тема в последнее время привлекает широкое международное внимание. В настоящей статье рассматриваются данные о существующих стандартных методах тестирования, а в тоннеле ТБМ рассматриваются типы износа. Разработана новая система тестирования абразивных свойств грунта, которая называется Камера тестирования абразивности грунта (SATC) (рис. 6), и результаты испытаний абразивности грунта сравниваются с результатами общепринятых тестов, таких как: Cerchar, LCPC и SAT испытаний. Некоторые из наиболее влияющих факторов, включая наличие воды и бентонитовой суспензии, размер частиц грунта, содержание кварца, давление воды и ограничение давления камеры, рассматриваются для использования новой разработки. Результаты испытаний показывают, что абразивность грунта имеет тенденцию к увеличению с увеличением размера частиц грунта и бентонитовой суспензии, давления грунта и содержания кварца. Влияние воды на абразивность варьируется для различных типов грунта. Абразивность грунта уменьшается с увеличением давления воды. Внутреннее трение, как представляется, не влияет на уровень износа, измеряемый новым предлагаемым аппаратом.

Рис. 7. Карты риска износа режущего инструмента



#### 3.2. Карты риска для оценки износа инструмента и планирования ремонтных работ (США) [11]

Оценка риска, связанная с геологическими и геотехническими условиями, зависит от неопределенности ключевых параметров. Однако понимание и информирование о пространственном распределении неопределенности и соответствующего риска часто является сложной задачей. Представлен пример, в котором были созданы трехмерные карты риска с использованием данных полевых исследований и пространственных средств интерполяции для интерпретации и коммуникации риска износа режущего инструмента (рис. 7). Кроме того, карты используются для прогнозирования количества инструментов, требующих замены во время строительства, и могут служить в качестве помощи для принятия решений для планирования замен резов. Для проверки этих карт и демонстрации того, как они могут обеспечить более всеобъемлющую оценку рисков

тоннелестроения, используются строительные данные и журналы наблюдений.

### 3.3. Абразивность грунта и пенетрационный тест для оценки производительности проходки ТБМ и ресурса резцов в мягких грунтах (Южная Корея, Иран) [12]

Тоннелестроение с ТБМ в мягких грунтах требует тщательного планирования и выполнения с точки зрения производительности проходки и ресурса режущего инструмента, которые зависят от многих параметров, включая наземные условия, эксплуатационные параметры ТБМ и кондиционирование грунта. Испытание абразивности грунта с пенетрационным тестом (SAPT) является недавно разработанным способом для имитации процесса экскавации ЕРВ ТБМ в небольших масштабах для оценки производительности проходки и износа режущих инструментов с учетом кондиционирования грунта в камере под давлением. Основные обсуждаемые вопросы включают общие положения нового способа оценки, его рабочую процедуру, исследование по параметрам влияния и, наконец, прослеженную корреляцию между результатами испытаний и оперативными параметрами (рис. 8).

### 3.4. Опыт тоннельного бурения очень жестких пород с акцентом на прогнозы производительности и оценки ресурса резцов (Норвегия) [13]

Использование тоннельных буровых машин (ТБМ) для скальных пород стало широко использоваться с успехом, но слишком много случаев оценок использования ТБМ с нежелательными последствиями. Во время тоннельного бурения происходит процесс большой сложности. При трудно разрабатываемых, очень крепких породах (т. е. низкой и крайне низкой их разрабатываемости) подчеркиваются сложности, которые во многих случаях имеют решающее значение для достижения сроков завершения и разумной стоимости тоннелестроения. Прогнозная производительность и смета расходов оказывают значительное влияние на планирование и управление рисками проектов проходки ТБМ. Надлежащее понимание тоннельного бурения и процессов износа в твердых грунтах повышает соответствующую применимость моделей для прогнозирования производительности и оценки ресурсов резцов. В статье собраны опыт и результаты из исследований и консалтингового сотрудничества по нескольким проектам ТБМ в твердых грунтах и во время пересмотра и расширения текущей версии модели прогнозирования в университете NTNU для производительности ТБМ и ресурса резцов.

### 3.5. Модель обратного расчета для текущего износа резцов ТБМ (Норвегия) [14]

В настоящей статье описывается модель расчета текущего износа, разработанная как

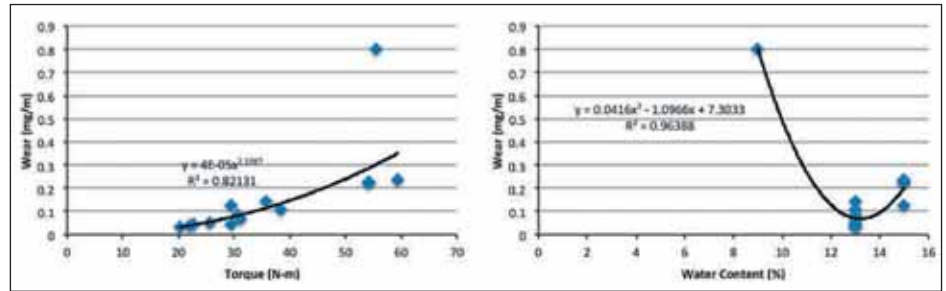


Рис. 8. Влияние крутящего момента и содержания воды на абразивность

обратный расчет и инструмент базы данных для потребления резцов в тоннелестроении с ТБМ. Программное обеспечение предназначено для обработки больших объемов данных, например, в регистрации резцов ТБМ. Модель текущего потребления резцов университета NTNU вычисляет текущее потребление резцов вдоль туннеля и между заменами резцов. Модель выражает текущий срок службы дисковой шарошки с точки зрения количества тоннельных метров на дисковую шарошку, часов на дисковую шарошку (рис. 9) и кубический метр массива на дисковую шарошку. На основе модели текущего потребления резцов университетом NTNU вычисляется модель расчета этих параметров для программного обеспечения, а также количество дисковых шарошек на тоннельный метраж, фактическая скорость проходки, уровень износа, основанный на теоретической скорости проходки и индикаторе процесса износа (теоретический/фактический уровень проходки). Основное внимание уделено алгорит-

мам модели обратного расчета, а также сравнению результатов программного обеспечения при разных случаях с текущим износом по NTNU Модели текущего износа резцов.

## 4. МОНИТОРИНГ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

### 4.1. Опыт внедрения системы контроля режущего инструмента (Россия) [15]

Целью данной публикации ставилось обобщение опыта работы ротора тоннелепроходческого механизированного комплекса «Херренкнехт» на проходке Лефортовского туннеля Москвы для дальнейшего использования данного комплекса в грунтах на трассах проектируемых туннелей в городе. При этом детально освещено внедренное на механизированном комплексе мероприятие, сокращающее затраты по замене режущего инструмента ротора для увеличения эффективности проходки.

На 150 м проходки в зоне разуплотнения пород при выходе из песков в глину

Рис. 9. Текущая потребность в инструменте с точки зрения часов на режущее кольцо шарошки (результаты программного обеспечения)

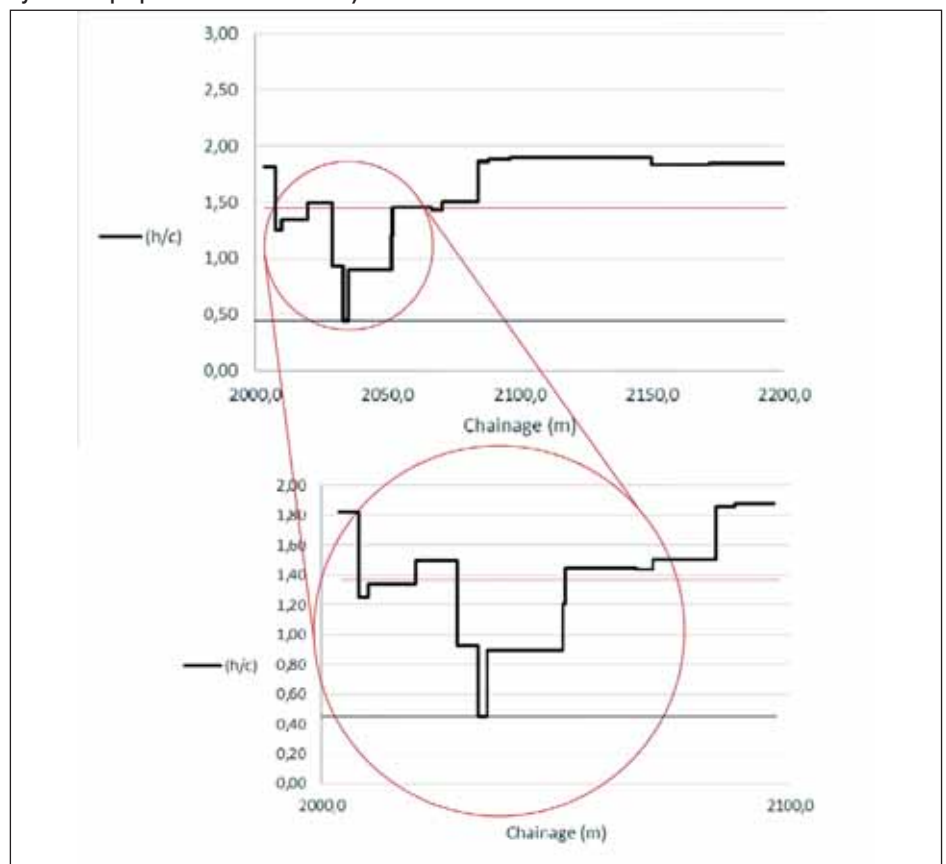




Рис. 10. Датчик износа в резце и ковше

часть центрального забурника была потеряна, при этом, как показал компьютерный контроль параметров щита, резко возросли усилие проходки и число аварийных отключений центрального ротора. После

восстановления данного режущего инструмента проблем с работой этого ротора не возникало при проходке в крепких известняках и своевременной замене режущего инструмента.

Износ режущих инструментов наблюдался в следующих проявлениях:

- равномерный (абразивный) износ (шарошки);
- частичная потеря режущей гребенки (резцы, ковши);
- неравномерный износ шарошки при заклинивании вращения;
- разрушение крепления (разрыв болтов крепления шарошек и ковшей, деформация держателей резцов);
- разрушение тела инструмента (резцы, ковши, шарошки) и ротора.

К немедленной замене инструмента приводили только последние случаи износа – разрушение инструмента и крепления. Остальные проявления износа отслеживались регулярно, и замена происходила после анализа динамики износа.

В будущем, наряду с усилением и пересмотром типа крепления режущего инстру-

Таблица 2

Постатейная сводка результатов исследований по типам грунта

Статья	Результат	Тип грунта
<b>1. ВЫБОР КОНЦЕПЦИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА</b>		
1.1.	Определение оптимальных интервалов замены резцов	несвязный
1.2.	Частичная замена одного вида инструмента на другой	несвязный
1.3.	Влияние конструкции ротора и различных эксплуатационных параметров на толщину стружки и скорость работы машины	скальный
<b>2. ТЕСТЫ НА АБРАЗИВНОСТЬ</b>		
2.1.	Расчет CAI - индекса абразивности Церчар из измеренного диаметра полученного плоскости износа на штифте по скальному образцу породы.	скальный (образцы)
2.2.	Определение скорости износа по потере металла из инструмента для расчета его потребления	скальный (образцы)
2.3.	Тестирование различных образцов грунта (глина, ил, песок и гравий) методом SAT™	несвязный (образцы)
2.4.	Подтверждение корреляции между абразивностью грунта и содержанием кварца, количественная оценка влияния размера и шероховатости зерна для испытанного грунта	несвязный (образцы)
<b>3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА</b>		
3.1.	Новая система тестирования абразивных свойств грунта, которая называется Камера тестирования абразивности грунта (SATC): исследование влияния факторов, включая наличие воды и бентонитовой суспензии, размер частиц грунта, содержание кварца, давление воды и ограничение давления камеры	несвязный (образцы)
3.2.	Пример, в котором были созданы трехмерные карты риска с использованием данных полевых исследований и пространственных средств интерполяции для интерпретации и коммуникации риска износа режущего инструмента	скальный
3.3.	Испытание абразивности грунта с пенетрационным тестом (SAPT) как недавно разработанный способ для имитации процесса экскавации ЕРВ ТБМ в небольших масштабах, для оценки производительности проходки и износа режущих инструментов с учетом кондиционирования грунта в камере под давлением	несвязный (образцы)
3.4.	Результаты из исследований по нескольким проектам ТБМ в твердых грунтах и во время пересмотра и расширения текущей версии модели прогнозирования для производительности ТБМ и ресурса резцов	скальный (образцы)
3.5.	На основе модели текущего потребления резцов: вычисление этих параметров для программного обеспечения, а также количества дисковых шарошек на тоннельный метраж, фактической скорости проходки, уровня износа, основанного на теоретической скорости проходки и индикаторе процесса износа	скальный
<b>4. МОНИТОРИНГ ИЗНОСА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА</b>		
4.1.	Отслеживание проявления износа и регулярная замена резцов после анализа динамики износа; обоснование необходимости установить дистанционные определители износа на ковшах, резцах и теле ротора для минимизации затрат и работ по осмотру и замене изношенного инструмента	полускальный и несвязный
4.2.	Результаты износа шарошек: центральных 10 %, лицевых 20 %, контурных 70 %; результаты поломки шарошек: центральных 27 %, лицевых 31 %, контурных 42 %	скальный
4.3.	Для успешной работы ТБМ в валунах и других абразивных породах - необходимость предусмотреть определение абразивных свойств вмещающих грунтов в составе работ по инженерным изысканиям	несвязный
4.4.	Представление резца и риппера в режиме реального времени на системе мониторинга износа, которая разработана в ТБМ	несвязный



мента, а также типа и размеров резцов и шарошек необходимо установить дистанционные определители износа на ковшах, резцах и теле ротора для минимизации затрат и работ по осмотру и замене изношенного инструмента.

#### **4.2. Проектирование и эксплуатация ТБМ с грунтопригрузом в условиях валунного грунта (Сингапур) [16]**

При проходке 625 м FCBB количество замененных режущих дисковых шарошек достигло 146 за семь остановок на ремонтные работы. Большая часть количества замен резцов объясняется трещинами, поломками и неисправностями диска от процесса резания и только 28 из них – это число замен вследствие износа режущего диска. Износ шарошек: центральных 10 %, лицевых 20 %, контурных 70 %; поломка шарошек: центральных 27 %, лицевых 31 %, контурных 42 %.

#### **4.3. Геотехнические проблемы при строительстве тоннелей с помощью ТБМ (Россия) [17]**

В данной работе отмечены возможности современных тоннельных буровых машин (ТБМ) при работе в условиях сложных геотехнических ситуаций и малоизученных инженерно-геологических условий в городе. Приведены примеры нештатных ситуаций с ТБМ и негативного влияния строительства тоннеля на окружающую застройку, проанализированы причины инцидентов, по результатам геотехнического мониторинга выданы соответствующие рекомендации.

Публикация посвящена проблемам щитовой проходки московских тоннелей и отмечает, что для успешной работы ТБМ в валунах и других абразивных породах необходимо предусмотреть определение абразивных свойств вмещающих грунтов в составе работ по инженерным изысканиям.

#### **4.4. Инструменты ротора щитовой машины с системой мониторинга реального времени их износа (Китай) [18]**

Для того чтобы уменьшить риск ремонтных работ, повысить эффективность строительства и помочь оператору ТБМ в принятии решения о том, должны быть изменены или нет режущие инструменты, большое значение имеет реализация визуального управления условиями износа для режущих инструментов.

В этой статье приводится резисторный массивный датчик типа износа, исследуется, как датчик передает сигнал на интерфейс «человек – машина» (HMI) для отображения в режиме реального времени. В деталях представлен резец и риппер в режиме реального времени на системе мониторинга износа (рис. 10), которая разработана в ТБМ специально для CREG (Группа Китайских компаний железнодорожного инженерного оборудования, Ltd.).

Кроме того, эта система была применена к проекту метрополитена Пекинской новой линии до аэропорта. Результаты показывают, что датчик износа имеет высокую точность и универсальность, а величина износа может отображаться на HMI в режиме реального времени, с тем чтобы значительно повысить эффективность тоннелестроения.

#### **Ключевые слова**

Тоннельная буровая машина (ТБМ), абразивность грунта, режущий ротор, ресурс бурового инструмента.

*Tunnel Boring Machine (TBM), Soil Abrasivity, Cutter Head, Drill Tooth Lifetime.*

#### **Список литературы**

1. Мазеин С. В., Вознесенский А. С. Кондиционирование грунта щитовой проходки // *Метро и тоннели*. – 2018. – № 4. – С. 34–36.
2. Мазеин С. В., Вознесенский А. С. Опыт тоннельной щитовой проходки с грунтопригрузом // *Метро и тоннели*. – 2019. – № 1. – С. 14–17.
3. Мазеин С. В. Оптимизация оснащения ротора и периодичности замены режущего инструмента при щитовой проходке тоннельных и других выработок // *Горный журнал*. – 2009. – № 10. – С. 84–86.
4. Kbrostasb M., Hajibassani M., Shabsavari A., Barari M., Halajian M. 2017. Experiences from the excavation of line one of Anuaz subway under the Karun river. *Proceedings of International Tunneling Symposium in Turkey: Challenges of Tunneling (Ed. N. Bilgin and all.)*. 2-3 December 2017, Istanbul. P.160–167.
5. Hassanpour J. Rostami Y. Firouzei H.R. Tavakoli 2019 Optimizing TBM cutterhead design for application in very strong and abrasive rocks, case study of 6. Kerman Water Tunnel. *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds) Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-38865-9*.
6. Kasling, H., Thiele, I. & Thuro, K. 2007. Abrasivitätsuntersuchungen mit dem Cerchar-Test – eine Evaluierung der Versuchsbedingungen. In Otto (ed.) *Veröffentlichungen von der 16. Tagung für Ingenieurgeologie*, 7.-10. März. Bochum: Technische Fachhochschule Georg Agricola.
7. Pietsch, LA. 2012. The Cerchar Abrasivity Index's Applicability to Dredging Rock / *Proceeding of the Western Dredging Association (WEDA XXXII) Technical Conference and Texas A&M University (TAMU 43) Dredging Seminar, San-Antonio, Texas, June 10–13*.
8. Jakobsen PD, Bruland A, Dahl F. Review and assessment of the NTNU/SINTEF Soil Abrasion Test (SATTM) for determination of abrasiveness of soil and soft ground. *Tunn Undergr Sp Technol [Internet]*. 2013 Aug [cited 2019 Jan 15];37:107–14.
9. Sebastiani D, Passeri D, Belardi G, Miliziano S. Experimental Study of Coarse Soil Properties Influencing Soil Abrasivity. In: *Procedia*

*Engineering [Internet]*. 2016 [cited 2018 Oct 21]. p. 9–14.

10. Barzegari G, Uromeiby A, Zhao J. Parametric study of soil abrasivity for predicting wear issue in TBM tunneling projects. *Tunn Undergr Sp Technol [Internet]*. 2015 Apr [cited 2019 Jan 15]; 48:43–57.

11. Grasmick J.G., Mooney MA. 2019. Risk maps for cutter tool wear assessment and intervention planning / *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds) 2019 Taylor & Francis Group, London*.

12. Kim D.Y., Kang H.B., Sbin Y.J., Jung J.H. Farrokh E. 2019 Soil abrasion and penetration test for the evaluation of soft ground TBMs' excavation performance and cutter life / *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds) 2019 Taylor & Francis Group, London*.

13. Macias F.J. 2019 Experiences from tunnel boring when hard-to-very hard rock with focus in performance predictions and cutter life assessments / *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds) 2019 Taylor & Francis Group, London*.

14. Frostad H.I., Bruland A., Jakobsen P.D. Macias F.J. 2019 Back-calculation model for instantaneous TBM cutter wear / *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds) 2019 Taylor & Francis Group, London*.

15. Мазеин С. В., Песков С. М. Опыт внедрения системы контроля режущего инструмента ротора на ТПМК «Херпенкнехт» // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2005. – № 9. – С. 58–63.

16. Ук Юнж Ким. Проектирование и эксплуатация ТБМ с грунтопригрузом в условиях валунного грунта // *Метро и тоннели*. – 2017. – №3–4. – С. 43–48.

17. Мазеин С. В., Вознесенский А. С., Панкратенко А. Н. Инженерные изыскания и геотехнические проблемы при строительстве тоннелей с помощью тоннельных буровых машин (ТБМ) под городской застройкой // *Геотехника*. – 2017. – №4. – С.42–50.

18. Zhuo X.J., Lu Y.T, Ye L., Sun H. 2019 Shield machine cutterhead tools real-time wear monitoring system / *Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art – Peila, Viggiani & Celestino (Eds) Taylor & Francis Group, London*.

#### **Для связи с авторами**

Вознесенский Александр Сергеевич  
al48@mail.ru  
Мазеин Сергей Валерьевич  
mazin-bubn@mail.ru  
Данилов Герман Владимирович  
german.danilov.1987@mail.ru



# ЧТО ЗА СЕТКА! УСКОРЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МЕТРО В МУМБАИ

## WHAT A MESH! SPEEDING UP METRO CONSTRUCTION IN MUMBAI

Томас Хьорт Йенсен, внештатный научный журналист, Kronhjort, Дания

Thomas Hjort Jensen, freelance science journalist, Kronhjort, Denmark

**О том как был изменен метод строительства метрополитена в Мумбаи, о применении специальной дренажной сетки для облицовки внутренней части тоннеля, и как результат – ускорение темпов стройки и значительное снижение воздействия на окружающую среду.**

*How the construction of Mumbai Metro changed tracks, about the application of special line drain mesh for the inner lining of the tunnel, to become operational sooner and with a greatly reduced environmental impact.*



Рис. 1. Строительство метро Мумбаи

**М**умбаи на западном побережье Индии с более чем 22 миллионами жителей входит в десятку крупнейших городов в мире. Чтобы уменьшить частые заторы на дорогах на территории большого города площадью 600 км<sup>2</sup> и дополнить существующую переполненную железнодорожную сеть, ведется строительство метрополитена Мумбаи, быстрой и высокопроизводительной транспортной системы. Строительство идёт полным ходом ниже и выше оживлённых загруженных улиц.

Работа на линии 1, соединяющей восточные и западные пригороды 11,4 км путей, началась летом 2014 г. и уже занимает восьмое место среди всех линий метро в мире по плотности пассажиров. Линии 2, 4, 6 и 7 в настоящее время находятся в стадии строительства, как и полностью подземная линия 3, охватывающая город с 27 станциями от SEEPZ и Aarey на севере до делового района Cuffe Parade на юге. С учетом того, что предстоит построить 33,5 км тоннелей, включая проход под внутренними и международными аэропортами Мумбаи, стоимость одной только этой линии метро оценивается в 3,66 миллиарда долларов США.

Первоначально планировалось, что линия 3 будет открыта в 2016 г., но в настоящее время ожидается, что она будет введена в эксплуатацию в декабре следующего года или позже из-за задержек, вызванных, среди прочего, обсуждением размещения навеса для вагонов метро в лесной зоне в колонии Aarey, а также проблемами с цепочкой поставок и резким сокращением числа работающих на объекте, вызванным вспышкой пандемии Covid-19. Один из предпринятых способов наверстать упущенное – изменение самого метода строительства тоннеля.

Поскольку традиционный подход к бетонированию на месте внутренней облицовки тоннеля требует много времени, Mumbai Metro Railway Corporation Ltd. в 2019 г. приняло решение заменить этот способ строительства, и применить специальную дренажную сетку для облицовки внутренней части тоннеля, покрытую торкретбетоном. Дренажная сетка, особый тип линейного дренажа, предложенная инженером-консультантом в рамках проекта, представляет собой новый метод, решающий многие из хорошо известных проблем проектирования и обслуживания тоннелей, а также сокращает время, необходимое для их фактического строительства.

Помимо экономии времени на этапе строительства, решение с дренажной сеткой сокращает время простоя тоннеля в дальнейшем за счет снижения давления воды на бетонную облицовку. При постоянном устранении давления воды на внешнюю часть конструкции такие повреждения, как разрушение бетона из-за коррозии, растрескивание и снижение прочности конструкции, а также образование льда будут устранены или значительно уменьшены в течение срока службы тоннеля. В рамках такого проекта сокращение времени простоя означает комфортную жизнь для многих людей, ежедневно зависящих от стабильной работы этой линии метро.

Компания Dolenco Tunnel Drain из Копенгагена, Дания, изобрела дренажную сетку как средство постоянного сброса давления воды не только при строительстве тоннелей, но и в цокольных этажах и стенах.

Тонкая X-образная сетка в виде модулей 800×1200×14 мм монтируется на обеих стенках тоннеля сверху вниз с помощью пневматического мо-

лотка, края модулей перекрывают друг друга и заводятся в дренажный канал, в дренажную трубу или другое дренажное приспособление в зависимости от фактического дизайна проекта.

После монтажа дренажная сетка полностью покрывается слоем торкретбетона. На поверхность наносится напыляемая мембрана, и, наконец, внутренняя часть тоннеля облицовывается слоем водостойкого торкретбетона толщиной 6–10 см. Вода, накапливающаяся за конструкцией, будет собираться и стекать по спроектированным дренажным каналам с помощью взаимосвязанной сетки и, таким образом, не будет взаимодействовать с внутренней облицовкой тоннеля, оставляя ее полностью сухой и свободной от гидростатического давления. Такое решение отводит до 8 кубометров воды на погонный метр в час, что делает его пригодным для большинства тоннелей и подвальных сооружений, даже если они располагаются ниже уровня грунтовых вод.

Изготовленная полностью из переработанного материала, дренажная сетка сама по себе не потребляет новые ресурсы при производстве и впоследствии может быть полностью переработана.

В свою очередь производство бетона является источником значительных выбросов углекислого газа, поэтому необходимость в значительно меньшем количестве бетона после такого изменения технологии строительства также означает значительное снижение воздействия на окружающую среду от процесса строительства, и это особенно важно и ощутимо в строительном проекте подобного масштаба. По приблизительной оценке, снижение воздействия на окружающую среду составляет около 50 % по сравнению с методами заливки бетона с помощью опалубки, только лишь благодаря уменьшенному количеству бетона.

Кроме того, когда тоннель выполнит свое предназначение в далеком будущем и возникнет необходимость вывести его из эксплуатации и расформировать, бетон будет представлять собой незагрязненную фракцию отходов, которую можно легко удалить, измельчить и переработать в новый бетон с гораздо меньшим воздействием на окружающую среду.

Возможно засорение дренажных каналов в законченном строительстве; осадки и другие посторонние предметы могут, хотя и с небольшой вероятностью, застревать в каналах, снижая эффективность установки. Для таких редких случаев тоннель систематически сканируется для выявления засоров и стоячей воды. После обнаружения засоры безопасно удаляются путем механической прочистки канала без приложения давления. Восстановление функции слива можно проверить визуально.

Сколько времени реально экономит этот переход в методе строительства будет понятно лишь в будущем. Тем не менее, после



Рис. 2. Установленный элемент дренажной сетки Dolenco



Рис. 3. Монтаж дренажной сетки Dolenco для тоннелей

завершения строительства линия 3 метро Мумбаи гарантированно станет жизненно важной ежедневной дорогой для многих жителей этого огромного мегаполиса, а теперь уже при значительно меньшем воздействии на окружающую среду, благодаря встроенным дренажным каналам, и с ожиданием существенного увеличения времени безотказной работы.

#### Ключевые слова

Подземная линия метро, метод строительства тоннеля, дренажная сетка, бетонная облицовка.

*Underground Line, tunnel construction method, drain mesh, concrete lining.*

#### Использованная литература

1. [https://about.ita-aites.org/wg-committees/ita-tech/publications/download/1860\\_d8756739e354d7829fb7bcc62eecb19](https://about.ita-aites.org/wg-committees/ita-tech/publications/download/1860_d8756739e354d7829fb7bcc62eecb19)

#### Для связи с авторами

Томас Хьорт Йенсен  
thomas@kronhjort.com  
Ксения Онопко, переводчик  
onopko@tunnelndrain.com

# РАЗРАБОТКА ВАРИАНТОВ МОДЕРНИЗАЦИИ МОСКОВСКОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

## DEVELOPMENT OF OPTIONS FOR MODERNIZATION OF THE MOSCOW MONORAIL TRANSPORT SYSTEM

**С. П. Вакуленко**, ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (МИИТ), к. т. н., профессор, директор ИУИТ  
**Д. Ю. Роменский**, ФГАОУ ВО Российский университет транспорта (МИИТ), заместитель начальника НОЦ «Независимые комплексные транспортные исследования» ИУЦТ  
**В. А. Мнацаканов**, генеральный директор ООО «Томак, ЛТД», к. т. н.  
**А. В. Дорохов**, генеральный директор ООО «ЦЕНТР-ДОРМОСТ»  
**Д. Н. Власов**, д. т. н., заместитель руководителя транспортно-инженерного центра ГАУ «Институт Генплана Москвы»  
**S. P. Vakulenko**, PhD, Full prof., Russian University of Transport  
**D. Y. Romenskiy**, senior teacher, Russian University of Transport  
**V. A. Mnatsakanov**, PhD, General Director of LLC «TOMAK, LTD»  
**A. V. Dorohov**, General Director of CENTER-DORMOST LLC  
**D. N. Vlasov**, Doctor of Engineering Science, Full prof., Deputy Head of the Transport and Engineering Center of Institute of the General Plan of Moscow

**В статье рассматривается техническая целесообразность модернизации Московской монорельсовой транспортной системы (ММТС), прослужившей 15 лет с момента запуска в эксплуатацию. Уникальный по своим техническим параметрам транспортный комплекс ММТС, разработанный в кооперации российских машиностроительных предприятий оборонного комплекса, не реализовал заложенного в него потенциала и в настоящее время представляет собой недостаточно эффективное предприятие, входящее в структуру Московского метрополитена. С 2016 г. в профессиональном сообществе активно обсуждается идея реорганизации всего комплекса ММТС. Рассматривается большое число вариантов, начиная от полной ликвидации системы и заканчивая её глобальной модернизацией. В исследовании подробно рассматривается техническая составляющая вариантов приведения ММТС к параметрам современных, более эффективных монорельсовых систем. Приводятся результаты анализа возможностей привлечения зарубежных компаний-поставщиков, а также результаты эскизной разработки нового поколения подвижного состава.**

*The article considers the technical feasibility of modernizing the Moscow monorail transport system (MMTS), which has served for 15 years since its commissioning. Unique in its technical parameters, the MMTS transport complex has not realized its potential and is currently an insufficiently efficient enterprise that is part of the Moscow metro. Since 2016, the professional community has been actively discussing the idea of reorganizing the entire MMTS complex. A large number of options are being considered, ranging from the complete elimination of the system to its global modernization. The study examines in detail the technical component of options for bringing MMTS to the parameters of modern, more efficient monorail systems. The results of the analysis of the possibilities of attracting foreign suppliers, as well as the results of the preliminary development of a new generation of rolling stock are presented.*

**В** настоящее время монорельсовый скоростной внеуличный транспорт активно развивается в крупных городах и мегаполисах мира. Наблюдается значительный рост длины полностью автоматизированных монорельсовых линий в Китае, Японии, США, Южной Корее и других странах. За последние 30 лет ведущие производители прошли большой путь в совершенствовании технико-экономических параметров своей продукции. Монорельсовые системы разных поколений существенно отличаются по своей эффективности и надёжности работы. Монопоезда ведущих иностранных компаний работают на перегонах 500–800 м со

скоростями сообщения 30–36 км/ч, с ускорениями и замедлениями такими же, как на вагонах метрополитена (скорость сообщения 36 км/ч на перегоне 800 м соответствует скорости сообщения 50 км/ч на перегоне 1700 м, что на 20 % выше, чем на метрополитене). При этом новые линии монорельса, как правило, включаются в состав существующих систем метрополитена, поскольку имеют показатели и технологии эксплуатации близкие к метрополитену [1–7].

Технико-экономические расчёты показывают, что при полной автоматизации режимов движения монопоездов, и при оптимальных для технологии монорельса значе-

ниях провозной способности и скорости сообщения, этот внеуличный транспорт способен обеспечить операционную безубыточность. Он может также гармонично дополнять разветвлённую транспортную сеть таких городов, как Москва. Например, построенная в 2015 г. в г. Тэгу (Южная Корея) монорельсовая система длиной 24 км (средняя длина перегона 800 м) стоимостью \$333 млн (970 млн руб./км) обеспечивает скорость сообщения 36 км/ч (на Московском метро – 42 км/ч). Система характеризуется большой провозной способностью и входит в состав метрополитена города Тэгу как 3-я (оранжевая) линия метрополитена.

Московская монорельсовая транспортная система имеет непростую судьбу. Комплекс не отличается выдающимися показателями технико-экономической эффективности и перед правительством Москвы по состоянию на 2020 г. стоит вопрос принятия решения о дальнейшей судьбе уникального в своём роде транспортного комплекса.

### Общие сведения

Московская монорельсовая транспортная система (ММТС) – единственная линия монорельсового транспорта, входящая в состав системы скоростного внеуличного транспорта города. Построенная в период 2001–2004 гг. линия проходит по территории Северо-Восточного и Северного округов столицы от территории Всероссийского выставочного центра (ВДНХ) до станции «Тимирязевская» Серпуховско-Тимирязевской линии метрополитена. Образуя обособленное транспортное предприятие, ММТС входит в состав Московского метрополитена и работает по унифицированным тарифам и правилам пользования.

Разработка и постройка ММТС была выполнена в период с 1998 по 2004 г. в соответствии с постановлением правительства г. Москвы № 463-ПП от 22.05.2001 г. Общая длина пути, по которому перевозятся пассажиры, составила в двухпутном исчислении 4,81 км (в однопутном – 9,62 км) при средней длине перегона 960 м. Развитие монорельса как вида городского транспорта было, прежде всего, обусловлено попыткой властей города найти более дешёвые с точки зрения строительства и эксплуатации альтернативы метрополитену. Именно в тот период времени предлагались различные проекты альтернативных систем, реализовано из которых было две: ММТС и «лёгкое метро» в московском районе Бутово. Ни одна из систем не достигла ожидаемых результатов.

Первые четыре года построенная линия монорельса эксплуатировалась в так называемом «экскурсионном» режиме, что подразумевало большие интервалы между поездами и повышенную стоимость проезда. В режим системы пассажирского транспорта линия перешла в 2008 г. и проработала в нём до конца 2016 г., после чего возникла проблема износа и обновления подвижного состава, и линия снова перешла в «экскурсионный» режим из-за недостатка исправных составов. Первоначально на линии эксплуатировалось семь монопоездов из восьми, имевшихся в наличии, но постепенно начался процесс «каннибализма» составов, когда запасные части для составов, оставленных в работе, снимались с отставленных составов, в результате чего в депо осталось только четыре исправных и укомплектованных монопоезда. Максимальный объём годового пассажиропотока был достигнут в 2014 г. и составил 5,6 млн пассажиров.

Выбор трассировки единственной линии монорельса был обусловлен несколь-

кими факторами. Важнейший из них – борьба Москвы за право проведения престижной выставки «EXPO-2010» (которая впоследствии была проведена в Шанхае), и необходимость наличия презентабельной транспортной системы, обеспечивающей подвоз посетителей планируемой выставки. Вторым фактором являлось наличие готового створа в городской застройке, оставленного генеральным планом Москвы для прохождения перспективных автомобильных дорог. Деповской комплекс монорельса был построен на территории трамвайного депо им. Баумана. Третьим фактором являлись плохие транспортные связи между соседними районами северной части Москвы. Поездки затруднялись необходимостью пересечения двух железнодорожных линий, в результате чего жители города вынуждены были пользоваться кольцевой линией метро, расположенной в центральной части города.

Итогами 15-летней работы ММТС является повышенная по сравнению с другими транспортными системами себестоимость перевозок пассажиров при продолжающемся падении пассажиропотоков и сохранении относительно высоких параметров надёжности и безопасности системы. Затраты на содержание штата станционных работников, освещение эстакады и эксплуатацию инфраструктуры добавляются к прямым эксплуатационным затратам на тягу и обслуживание подвижного состава. В результате, удельные затраты на одного пассажира таковы, что перевозка каждого пассажира обходится казне Москвы дороже, чем перевозка на такси.

### Технические особенности ММТС

С технической точки зрения внеуличная ММТС построена на базе разработок компании Intamin (компания включает ММТС в своё портфолио реализованных проектов), однако фактически, при выполнении НИОКР во время разработки проекта, был полностью переработан привод, система СЦБ и управления движением. В результате от первоначального подвижного состава серии Intamin P30 осталась только общая архитектура подвижного состава и габаритные размеры. Московский монорельс стал площадкой для апробации целого комплекса инновационных технических решений, разработанных в кооперации целым рядом российских научно-производственных предприятий оборонного комплекса. Для обслуживания уникальных поездов было построено специализированное депо с поворотным кругом.

Тяговый привод с передачей тягового усилия от резиновых колёс на металлическую балку показал свою несостоятельность в зимних условиях из-за проскальзывания. Кооперацией разработчиков был разработан и внедрён линейный асинхронный тяговый привод [8, 9].

При реализации проекта ММТС была внедрена собственная система автоматизированного управления движением поездов, рассчитанная на интенсивное обращение поездов с межпоездными интервалами от 2 минут и возможностью внедрения полного автоведения без участия машиниста. Полная внеуличность, низкая интенсивность графика движения и наличие большого запаса времени хода в графике движения позволили достичь высокой надёжности работы системы и приблизиться к 100%-точности выполнения расписания.

### Роль в транспортной системе Москвы

При заполнении вагонов из расчёта 5 чел./м<sup>2</sup> вместимость монопоезда длиной 31,4 м составляет 200 пассажиров. Максимальная провозная способность – 6 тыс. пасс./час в одном направлении. В связи с этим были построены массивные станционные комплексы, близкие по своему наполнению к надземным станциям метрополитена (турникетные комплексы, эскалаторы, кассы и технические помещения) с постоянным присутствием дежурного персонала. В дальнейшем, именно затраты на дежурный персонал станционных комплексов в условиях уменьшения пассажиропотоков стали приводить к росту удельных затрат на одного пассажира. При сравнении монорельса с метрополитеном можно сделать вывод, что ввиду относительной дешевизны надземных станций (по сравнению с подземными) он наиболее эффективен и востребован при работе на коротких перегонах (400–800 м). Это подтверждают тягово-энергетические расчёты. Станции традиционного метро в российской практике, ввиду их дороговизны, располагают на среднем расстоянии около 1700 м. Среднестатистический пассажир после поездки в вагоне метро на расстояние 5,1 км (три перегона) со скоростью сообщения 42 км/ч (23 км/ч из расчёта «от двери до двери») [10] должен пройти от вестибюля станции прибытия до места назначения пешком примерно четверть длины перегона (425 м) и затратить на это около 5 мин. Средняя скорость его поездки составит 18 км/ч.

Во время работы в транспортном режиме ММТС успешно осваивала помимо местных, ещё и радиальные пассажиропотоки, возникающие между Серпуховско-Тимирязевской и Калужско-Рижской линиями метрополитена. При этом, у пассажиров, при осуществлении пересадки на метрополитен, возникает необходимость в пешем проходе между вестибюлями (100 и 300 м соответственно), что приводит к дополнительным затратам времени и ухудшению конкурентоспособности ММТС в единой транспортной системе города. В масштабах поездки в пределах Москвы, дополнительные 5–10 минут на две пересадки делают монорельс непривлекательным для транзитных поездов.

Уменьшение роли ММТС в транспортной системе происходило постепенно. В 2016 г., с открытием МЦК, задача соединения радиальных линий на севере Москвы была решена при помощи нового, более качественного транспортного сервиса на инфраструктуре МК МЖД, и пассажиропоток на ММТС существенно снизился. В том же году открылась станция метро «Фонвизинская», которая также начала обживать район тяготения станции монорельса «Улица Милашенкова». Дополнительно, в 2022 г. планируется открытие участка «Савёловская» – «Рижская» Большой кольцевой линии метрополитена, которая продублирует трассу ММТС с юга. Сильным ударом по пассажиропотоку монорельса стало постепенное усиление трамвайного маршрута № 17 в период с 2011 по 2020 г. Этот маршрут дублирует трассу монорельса на 40 % её длины. Уменьшение интервала в расписании до 2–5 минут, внедрение тактового расписания и ввод в обращение современного подвижного состава привели к повышению привлекательности трамвая и ещё постепенному оттоку пассажиров с монорельса. В итоге к настоящему времени ММТС обслуживает небольшие локальные пассажиропотоки, формирующиеся главным образом из-за отсутствия прямой связи другими видами транспорта через Ленинградское направление железной дороги.

### Продление трассы монорельса

С целью расширения сферы применения ММТС и увеличения пассажиропотоков, Институтом Генплана Москвы были рассмотрены возможности продления линии монорельса, в частности обеспечения связанности со станциями Московского центрального

кольца. Первый вариант предусматривает продление линии от существующего участка, далее по улице Сергея Эйзенштейна (или Сельскохозяйственной) и улице Вильгельма Пика до станции «Ботанический сад».

Второй вариант предусматривает продление линии до станции транспортно-пересадочного узла «Ростокино» с пересадкой на МЦК и МЦД-5 (рис. 1).

Если первый вариант фактически дублируется Калужско-Рижской линией метрополитена, то основным недостатком второго варианта является полное дублирование существующей трамвайной линии 17 маршрута и планировочные ограничения по размещению останочного пункта в районе станции Ростокино (необходимость сноса строений).

Моделирование пассажиропотоков показало, что второй вариант является более предпочтительным при сопоставимых затратах на строительство линии и одинаковых градостроительных ограничениях (рис. 2), связанных с прохождением эстакады монорельса вблизи жилых зданий, что по существующим градостроительным нормативам является серьёзной проблемой согласования проекта на ведомственном уровне и при прохождении публичного обсуждения.

Несмотря на техническую реализуемость продления, прогнозная величина пассажиропотоков и прогноз общей суммы социально-экономических эффектов не позволяют однозначно говорить о высокой приоритетности данного строительства. Моделирование показывает, что при любом из вариантов продления существующей трассы ММТС не получается достигнуть пассажиропотоков, присущих линиям внеулиц-

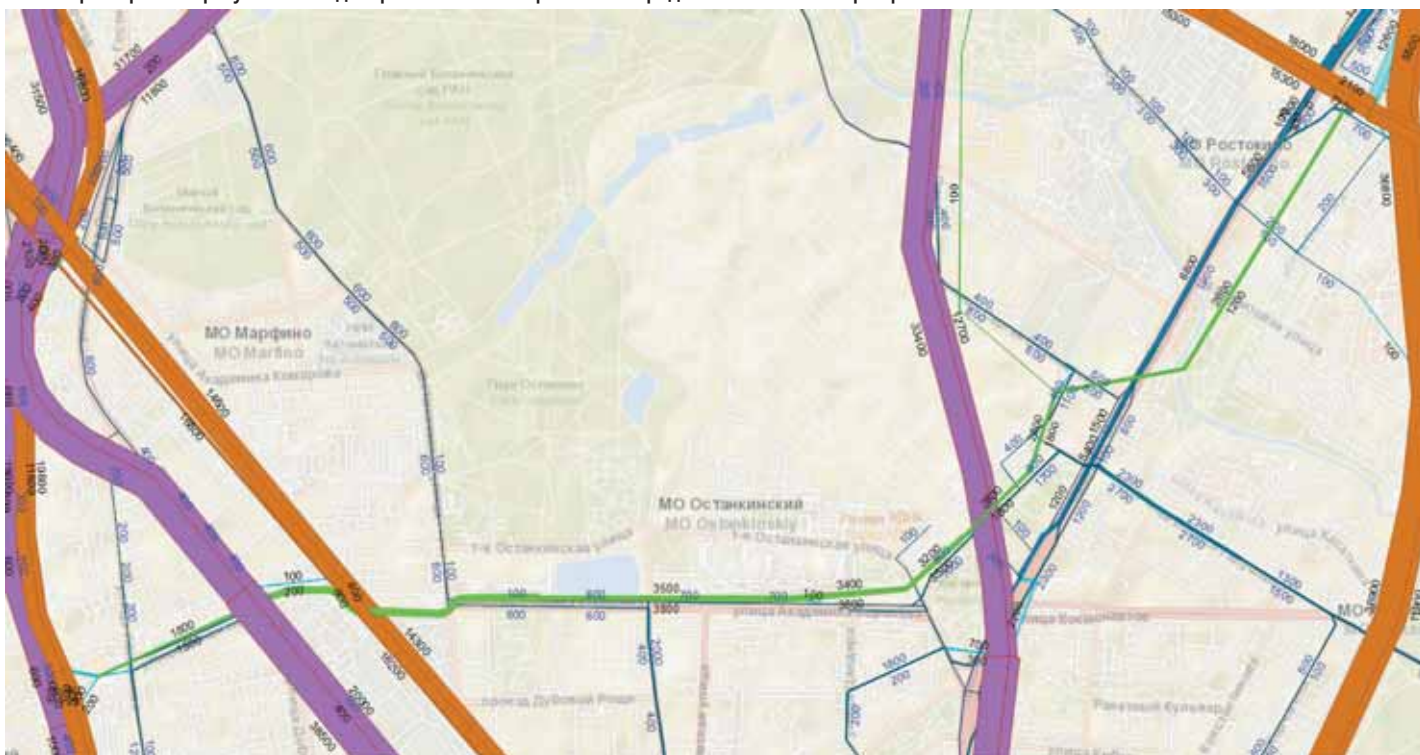
ного рельсового транспорта. В данной ситуации Московский монорельс является заложником сложившейся градостроительной ситуации, и без отказа от реализации других транспортных проектов (развития сети НППТ, метро, МЦД и трамвая), ММТС не имеет перспектив к существенному росту величины пассажиропотоков. В случае приведения ММТС к параметрам качественной транспортной системы по скорости и частоте обращения, может быть достигнут пассажиропоток в 4–6 млн пассажиров в год, что эквивалентно транспортному режиму работы ММТС в период с 2008 по 2016 г. При дальнейшем расчёте технико-экономических параметров модернизации монорельса были использованы именно такие целевые пассажиропотоки.

### Техническое состояние ММТС

В 2019 г. в рамках поиска вариантов модернизации ММТС как сложно-технического сооружения, в электродепо, на трассе, на электроподвижном составе и на тяговых подстанциях был выполнен комплекс работ по сбору данных о техническом состоянии и о режимах эксплуатации основных элементов ММТС с целью оценки потенциала действующей транспортной технологии и поиска оптимальных путей её модернизации.

Для получения практически значимых результатов, позволяющих оценить безопасность работы и техническое состояние ММТС после длительной эксплуатации, специалистами ООО «ТОМАК, ЛТД» были проведены испытания и тестирования пусковых, тормозных и энергетических режимов работы монопоездов. Они основаны на технологиях GPS позиционирования в со-

Рис. 1. Трассировка и результаты моделирования пассажиропотоков продления ММТС в створе Ярославского шоссе



четании с проверенной практикой испытаний вагонов метрополитена инновационной методикой измерений тягово-энергетических показателей работы электроподвижного состава [11]. В результате на каждом из десяти перегонов ММТС (пять перегонов в чётном и пять в нечётном направлении), которые существенно отличаются по профилю пути и по энергетике, были сняты кривые движения монопоездов при экскурсионном, эксплуатационном и максимальном по скорости сообщении режимах работы. Для повышения достоверности результатов измерений, по предложению специалистов электродепо тягово-энергетические испытания были проведены на нескольких монопоездах.

На рис. 3 представлены результаты экспериментальных измерений и расчётов тяговых, тормозных и энергетических режимов работы монопоезда в виде кривых движения и энергетических диаграмм, снятых во время его штатной работы в экскурсионном режиме в период с марта по июнь 2019 г. На штатный режим работы со скоростью сообщения 16,6 км/ч нанесён модернизированный режим работы монопоезда со скоростью сообщения 26,5 км/ч. Скорость сообщения в модернизированном режиме выросла на 60 %, а расход электроэнергии на 35 %.

Штатный режим (было): пусковое ускорение  $a_n = 0,32 \text{ м/с}^2$ , замедление  $a_r = 0,18 \text{ м/с}^2$ , удельная пусковая мощность 3,73 кВт/т,  $A = 88,99 \text{ Втч/ткм}$ .

Модернизированный режим (стало): пусковое ускорение  $a_n = 0,3 \text{ м/с}^2$ , замедление  $a_r = 0,5 \text{ м/с}^2$ , удельная пусковая мощность 4,13 кВт/т,  $A = 120,21 \text{ Втч/ткм}$ , вырос на 35 %.

Очевидно, что новый алгоритм работы тяги весьма энергоэффективен. Он допустим

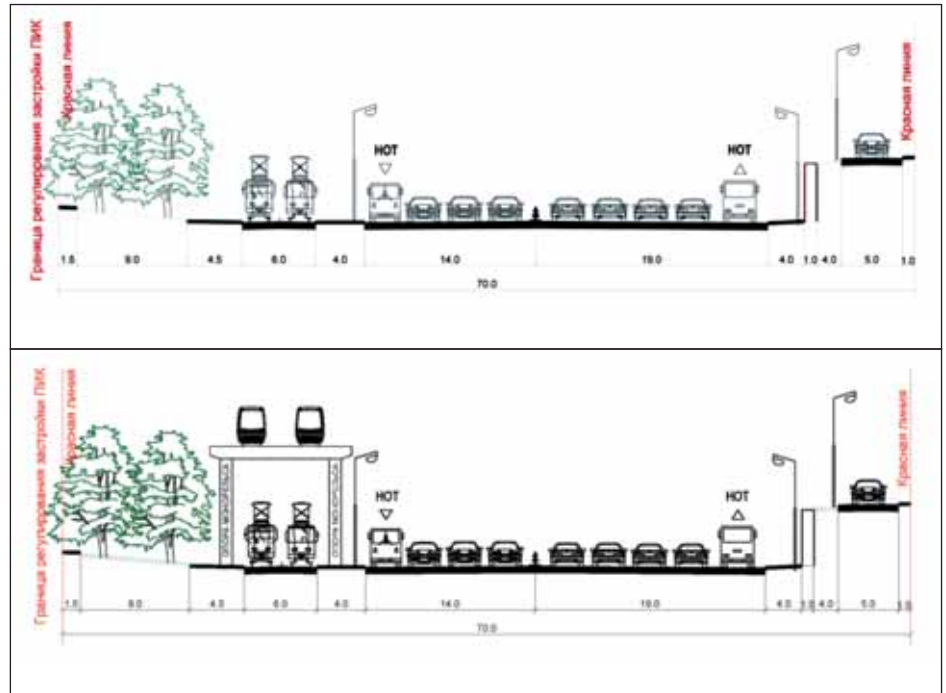


Рис. 2. Существующий и перспективный поперечный профиль Ярославского шоссе в районе ТПУ Росokino при продлении ММТС

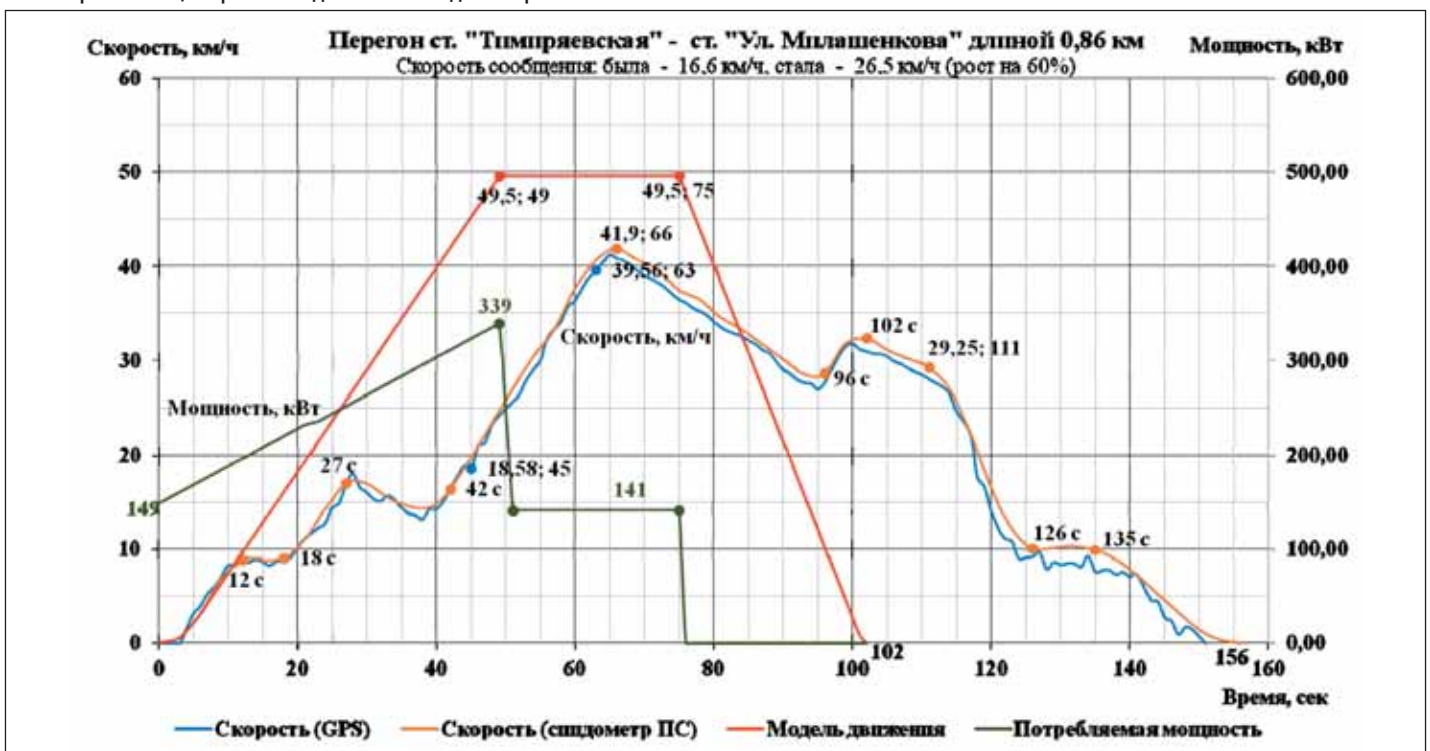
по мощности существующих тяговых сетей и тяговых подстанций, что доказывает наличие резервов как по допускаемой скорости движения, так и по мощности.

Представленные кривые движения монопоезда на перегоне ст. «Тимирязевская» – ст. «Улица Милашенкова» и на других перегонах ММТС снимались в различных условиях: при отрицательных и положительных температурах воздуха, на чистых и заснеженных эстакадах, при разных скоростях сообщения и т. д. Среди многочисленных заездов выбирались режимы движения

наиболее эффективные с точки зрения оптимального управления тягой. Измерения режимов движения монопоездов выполнялись с помощью технологий GPS позиционирования без вмешательства в работу электрооборудования подвижного состава. Поэтому они сняты именно такими, какими есть в реальной эксплуатации после 15 лет работы ММТС

Кривые движения обрабатывались в соответствии с инновационной методикой обработки результатов испытаний, проверенной при государственных приёмочных

Рис. 3. Кривые тяги, энергетики и движения поезда монорельса



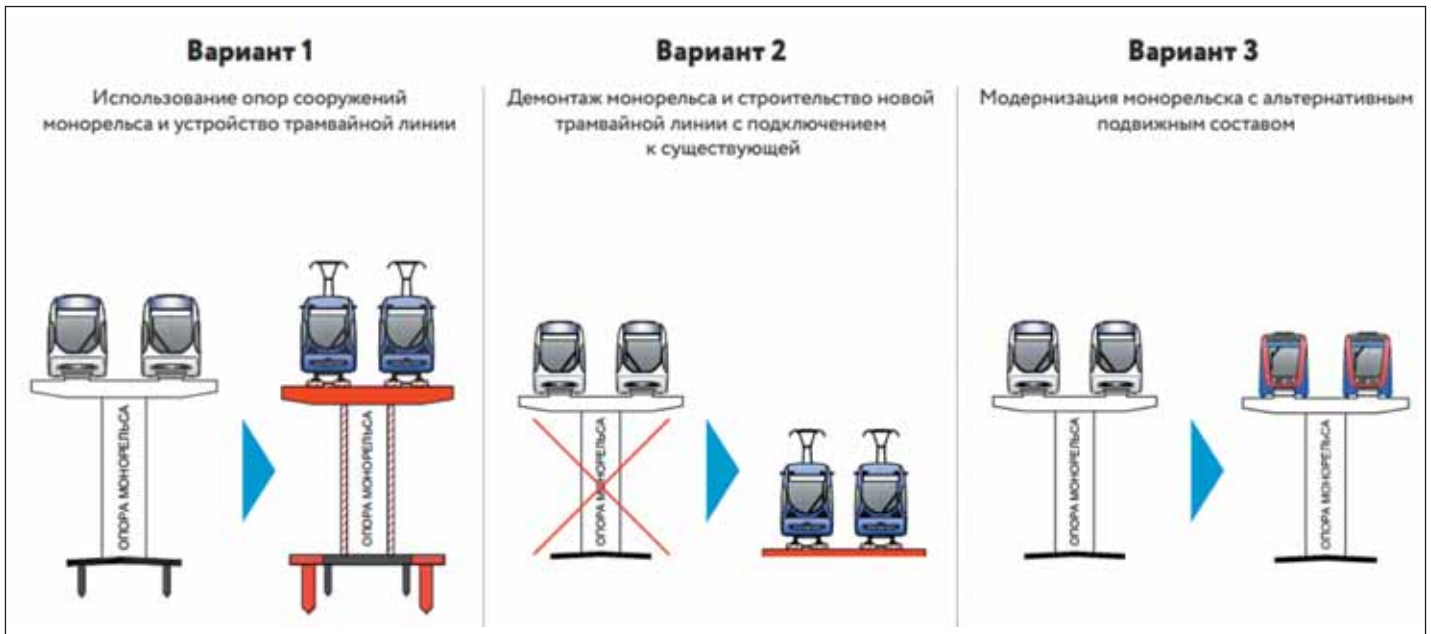


Рис. 4. Сравнение вариантов реконструкции и модернизации ММТС

испытаниях метropоездов проекта «НеВа». Она учитывает не только саму энергетику движения электроподвижного состава, но и влияние на неё профиля пути, что в случае резко переменного профиля трассы монорельса весьма существенно. По ней же проводились тягово-энергетические расчёты движения монопоездов и разрабатывались предложения по улучшению их тяговых, энергетических и тормозных характеристик [12]. Указанные испытания и измерения были проведены на всех десяти перегонах ММТС.

Было установлено, что в экскурсионном и эксплуатационном режимах движения скорость сообщения монопоездов на линии существенно занижена. Это обусловлено различными ограничениями, наложенными на их движение сложным профилем пути и наличием кривых малого радиуса на трассе, проектирование которой велось без должной координации с проектированием электроподвижного состава. Согласованное с руководством ММТС сокращение или отказ от некоторых мало обоснованных ограничений, а также применение режимов тяги и торможения больше похожих на режимы движения метropоездов позволило заметно повысить скорость сообщения монопоездов и сократить расход электроэнергии на тягу. Поэтому в последующих циклах испытаний были применены алгоритмы движения монопоездов с повышенными (с 0,3 до 0,8 м/с<sup>2</sup>) ускорениями и замедлениями. Это позволило выяснить как повышение ускорений и замедлений монопоездов влияет на энергетические показатели тяги и на скорость сообщения. Было установлено, что в диапазоне скоростей 30–60 км/ч росту ускорений препятствуют характеристики линейных асинхронных тяговых двигателей, у которых отсутствует режим ослабления поля, позволяющий поддерживать постоянную мощность тяги. Поэтому модернизация электропо-

движного состава ММТС не может ограничиться только теми улучшениями, которые могут быть достигнуты при существующем тяговом электрооборудовании и существующих режимах его эксплуатации, поскольку более интенсивные режимы эксплуатации повлекут за собой не только рост энергопотребления, но и потребуют существенного повышения тепломощности тяговых электродвигателей, а также улучшения их тяговых и тормозных характеристик.

В результате проведенных испытаний было установлено, что при существующей технике и технологии тяги монорельса, основанной на применении линейных асинхронных тяговых двигателей, маршрутная скорость поездов монорельса может быть повышена не более чем в 1,5 раза (с 16 до 24 км/ч). Это подтверждено экспериментально при опытных обкатках подвижного состава на линии с максимальными скоростями движения до 60 км/ч, с фиксацией достигнутых показателей тяги и расхода электроэнергии на тягу. Данные результаты свидетельствуют о наличии неиспользуемого резерва повышения качества работы ММТС в существующих условиях и о наличии ещё большего резерва в случае глубокой модернизации ММТС.

#### Сравнение вариантов модернизации и реконструкции

За время существования монорельса неоднократно поднимался вопрос его закрытия [13]. Во время публичной дискуссии о судьбе монорельса в Москве предлагались различные варианты его перестройки, начиная от полной ликвидации и обустройства на его месте общественного пространства с парком и заканчивая использованием его конструкций для других транспортных коммуникаций. Экспертами отмечается, что от закрытия ММТС сохраняется тот факт, что кроме ММТС других

маршрутов общественного транспорта через железную дорогу в районе платформы «Останкино» по-прежнему нет.

В период с 2015 по 2017 г. был подготовлен проект частичного сноса монорельсовой эстакады, сноса депо и использования части инфраструктуры для обустройства трамвайной эстакады, которая соединила бы две несвязные трамвайные системы Москвы и создала бы новые востребованные трамвайные маршруты. Однако в реализацию данный проект запущен пока не был.

Наряду с реконструкцией под трамвайную эстакаду, были рассмотрены и другие варианты (рис. 4):

- полный демонтаж ММТС, реновация инфраструктуры и вовлечение отчуждённых территорий в оборот (вариант 2);
- модернизация ММТС с достижением параметров наиболее современных монорельсовых транспортных систем (вариант 3) с продлением линии или без продления;
- сохранение текущего положения работы ММТС и консервация текущего положения.

#### Вариант 1

Для сравнения вариантов были приняты и проанализированы проектные решения, разработанные в 2016 г. институтом «МосГорТрансНИИПроект». Проект предусматривает частичный демонтаж монорельсовой инфраструктуры от депо до ст. «Останкино» и использование оставшейся инфраструктуры для строительства трамвайной эстакады. С этой целью потребуются усиление фундаментов железобетонных опор эстакады, полная замена пролётных строений и реконструкция станционных комплексов под новые габариты подвижного состава. Проведённая экспертиза показала техническую реализуемость данного варианта.

#### Вариант 2

Данный вариант основан на предложении полной ликвидации монорельса и использо-



вания его инфраструктуры для обустройства общественного пространства по аналогии с High line park в Нью-Йорке [13]. В данном случае будет утрачена уникальная транспортная связь, и этот вариант к сравнению не принимался.

### Вариант 3

Рассмотрение данного варианта происходило по двум возможным сценариям: привлечение зарубежных компаний – производителей монорельсовых транспортных систем или разработка нового поколения подвижного состава на базе опыта эксплуатации ММТС по результатам выполнения цикла НИОКР.

#### Вариант 3.1

В рамках исследования была подтверждена возможность модернизации и реорганизации подвижного состава ММТС с сохранением существующих конструкций ММТС с участием зарубежных поставщиков. Были проведены консультации с ведущими европейскими и азиатскими иностранными компаниями-производителями монорельсовых транспортных систем навесного типа (Hitachi, Intamin transportation Ltd, CRRC Puzhen Bombardier Transportation Systems, BYD и др.). Поставщики готовы поставить для модернизации ММТС современный электроподвижной состав, каждый – с различными технологиями тяги и различными системами автоматизации и контроля безопасности движения монопоездов. При этом каждая компания требует предоставить ей подробно сформулированное техническое задание на поставку или передать технические требования, изложенные в конкурсной документации.

В результате проведенных консультаций подтверждена возможность модернизации и реорганизации электроподвижного состава (включая модернизацию систем контроля безопасности) ММТС. Получены предварительные предложения по модернизации ММТС как с заменой монорельсовой балки и соответствующей доработкой строительных конструкций ММТС, так и без замены балки, но с заменой оборудования контактной сети и токосъёма электроподвижного состава. Изучение этих предложений показало, что для модернизации ММТС более предпочтителен вариант без замены балки, поскольку на ней может одновременно эксплуатироваться и существующий и новый электроподвижной состав. При этом существующие монопоезда могут выводиться из эксплуатации постепенно. Они также могут быть модернизированы и выведены на новый технологический уровень путём модернизации. Закупка новых монопоездов может вестись параллельно с продлением существующей монорельсовой линии.

От потенциальных поставщиков получены два технико-коммерческих предложения на системы очистки льда и снега с поверхностей монорельсовой балки. Эти системы позволяют обеспечить технологическую модер-

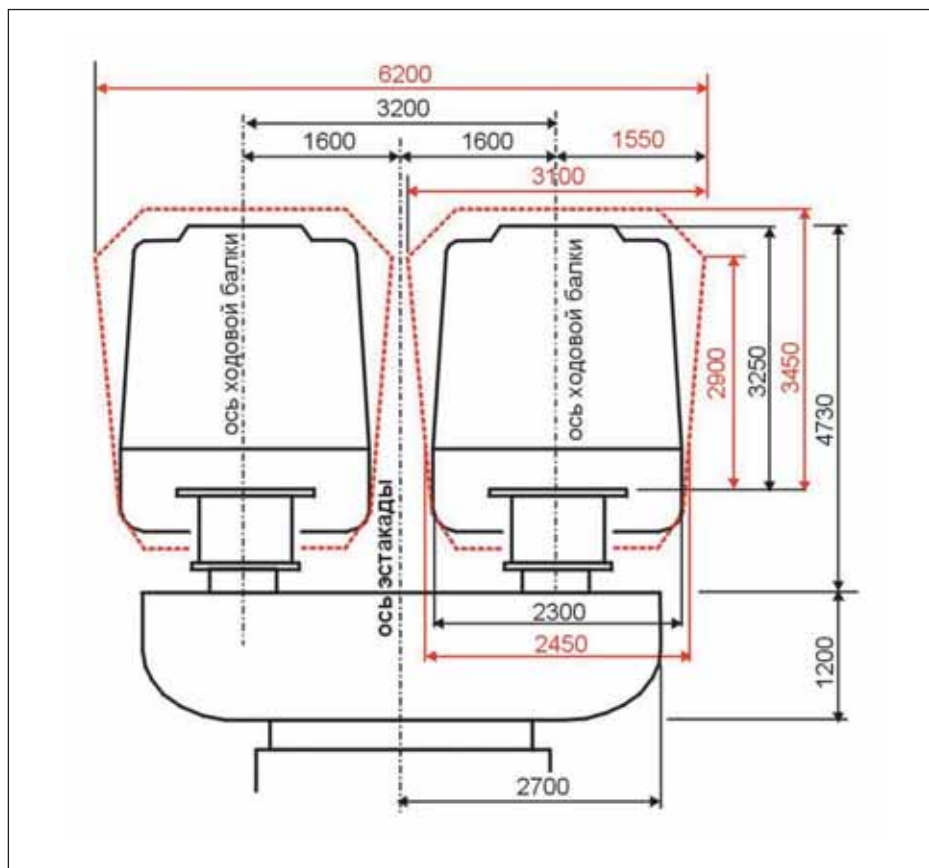


Рис. 5. Габаритные размеры ММТС

низацию ММТС и снять существующие проблемы эксплуатации подвижного состава ММТС в осенне-зимний период.

Из поступивших предложений по участию инофирм в проекте модернизации ММТС наиболее полным и позволяющим провести модернизацию на существующей инфраструктуре ММТС является предложение компании Intamin (Швейцария), подвижной состав которой «родственен» Московскому монорельсу.

#### Вариант 3.2

В исследовании были рассмотрены варианты адаптации существующих конструкций под новые составы монорельсовой дороги с учётом увеличения длины состава и локальной модернизации инфраструктуры ММТС при усовершенствовании линейного двигателя и, как вариант, внедрения системы частичного магнитного подвешивания (магнитной разгрузки). Такое решение позволяет сохранить существующие несущие балки монорельсовой эстакады без существенных изменений. По результатам проведённого ранее обследования конструкций эстакады не было обнаружено дефектов, влияющих на уменьшение несущей способности элементов пролётного строения и опор. С момента сооружения эстакады прошло 16 лет, что для современных мостовых конструкций является небольшим сроком службы.

Нагрузки от подвижного состава при расчётах принимались по введённым на момент проектирования эстакады (2001–2003 гг.) «Временным нормам и правилам проекти-

рования и строительства Московской монорельсовой транспортной системы». Линейная часть монорельсовой системы представляет собой эстакадную конструкцию со средней высотой над землёй 7,0–7,5 м с металлическими пролётными строениями на опорах из монолитного железобетона. Две ходовые балки, являющиеся одновременно пролётными строениями, опираются на единую опору, за исключением участков станций островного типа и подходов к ним, а также кольцевых разворотов. Минимальное расстояние между осями ходовых балок – 3,2 м (рис. 5). Общее количество опор эстакады – 216 шт. Сваи опор эстакады – буровые, диаметром 0,72. Количество свай в кусте – от 4 до 6.

Ходовая балка представляет собой металлическую конструкцию коробчатого сечения. Для обслуживания ходовых балок, навесного оборудования, кабельных линий и токонесущих шин, а также в качестве аварийного эвакуационного пути к ходовым балкам на консолях предусмотрены смотровые хода. Общее протяжение ходовых балок (в однопутном исчислении) составляет 11741 м.

Предлагается новый состав выполнять по форме аналогично действующему. При этом длина состава будет складываться из длины существующего состава 34,38 м и дополнительно одного вагона 5 м, суммарно 39,38 м, что не превышает длины платформ на станциях. Для модернизированного состава принята другая компоновочная схема состава с расположением дверей во 2, 4 и 6 вагонах



Рис. 6. Общий вид второго поколения подвижного состава ММТС

(рис. 6). Этого можно достичь путём отказа от массивных опорных колёс в межвагонном пространстве при внедрении магнитной разгрузки. Это увеличивает вместимость состава на 30 % при тех же габаритах.

Вес вагонов порожнего состава принят равным весу вагонов существующего состава. То есть нормативное давление на ось (в месте расположения катков и магнитных подвесов) остаётся  $P_{\text{ннс}} = 4,5$  т/ось. Расчётная нагрузка на ось порожнего состава:  $4,5 \text{ т/ось} \times 1,15 = 5,2 \text{ т/ось}$ .

С точки зрения строительной механики удлинённый состав будет работать в разгрузку наиболее загруженного пролёта в неразрезной балке, так как длины пролётов существующей эстакады не превышают 40 м. Расчётная временная вертикальная нагрузка загруженного состава принята равной 13,0 т/ось. В табл. приведены результаты расчётов на прочность балок пролётно-строения. Балки пролётно-строения могут выдерживать нагрузку от модернизированного подвижного состава с запасом 31,7 %.

Расчёты опор на увеличенную нагрузку показали, что большинство опор не требуют усиления, на части опор потребуется добурить дополнительные сваи с увеличением габаритов существующих ростверков.

Сравнение технических решений модернизации ММТС показывает, что наиболее оптимальными являются варианты с максимальным сохранением эстакады ММТС без изменения конструктива (рис. 7 второй столбец) [14, 15]. Этим критериям отвечают предложения компаний Intamin и BYD наравне с вариантом разработки нового поколения подвижного состава консорциумом российских разработчиков. Выбор того или иного поставщика возможен по результатам проведения конкурсных процедур, на этапе которых другие поставщики также могут подготовить свои предложения.

### Выводы

В результате проведенных тягово-энергетических испытаний ММТС и выполненных на их основе технических расчётов установлено, что внеуличный монорельсовый транспорт превосходит традиционный метрополитен по скорости поездки пассажира (из расчёта «от двери до двери»), по её безопасности и экологичности, по бесшумности эксплуатации, удобству для пассажира и энергоэффективности. Кроме того, он гораздо меньше метрополитена по стоимости строительства, его срокам и срокам самокупаемости. Именно поэтому в XXI в. существенно расширилось его применение в крупных городах и мегаполисах Китая, Японии, Америки и Европы, а строящиеся в них линии монорельса вводятся в состав существующих сетей традиционного метрополитена.

Однако построенный в начале 2000-х годов Московский монорельс остаётся жертвой

Таблица

Результаты расчётов на прочность пролётных строений ММТС

Наименование	Существующий состав	Модернизированный состав
Постоянная расчётная нагрузка, т/п. м	1,95	
Схема нормативной нагрузки от порожнего состава (кол-во осей x тонны)	7x4,5	8x4,5
Схема нормативной нагрузки от загруженного состава (кол-во осей x тонны)	7x6,8	8x8,9
Схема расчётной нагрузки от загруженного состава (кол-во осей x тонны)	7x10,0	8x13,0
Рассчитываемые пролёты балок, м	(32,0+36,0+30,0), (36,0+27,708)	
Расчётные изгибающие моменты, тм	584/ -561	693/ -685
Напряжения в упругой стадии работы металла, кг/см <sup>2</sup>	1527 (-1468)	1813 (-1790)
Расчётное сопротивление стали, кг/см <sup>2</sup>	2655	2655
Запас несущей способности, %	42,5	31,7

	Балка эстакады	Габариты подвижного состава	Существующие станции	Дело ММТС	Автоматика	Энергоснабжение	Использование существующего п.с.	Закрытие движения на реконструкцию линии	Работа в зимних условиях	Необходимость НМОКР	Материал балки	Текущий статус	
<b>Российские производители</b>													
Перспективный состав с нагибным подвесом				сохранение	сохранение	замена	модернизация	возможно	Не требуется	Есть опыт	требуется	Сталь (существующая)	Разработаны технические требования
<b>Зарубежные производители</b>													
Intamin (Швейцария) – серия P30				сохранение	сохранение	замена	модернизация	возможно	Не требуется	Есть опыт	требуется	Сталь (существующая)	Получена бюджетная оценка на модернизацию ММТС
BYD (Китай) – серия Skyshuttle				сохранение	сохранение	замена	модернизация	неизвестность	требуется	Нет опыта (есть предложение)	требуется	Сталь или железобетон	Получена бюджетная оценка на модернизацию ММТС
Hitachi (Япония) – малая серия моно-рельсов (Small-type)				сохранение	Реконструкция путей	замена	модернизация	неизвестность	требуется	Нет опыта	требуется	Железобетон	Компания ожидает официального объявления тендеров
BYD (Китай) – серия Skyrail				сохранение	Реконструкция путей	замена	модернизация	неизвестность	требуется	Нет опыта (есть предложение)	требуется	Железобетон	Получена бюджетная оценка на модернизацию ММТС
Bombardier (Канада) – серия Innovia100 или Innovia 200				сохранение	Реконструкция путей	замена	модернизация	неизвестность	требуется	Нет информации	требуется	Железобетон	Компания ожидает официального объявления тендеров

Рис. 7. Техническое сравнение вариантов модернизации ММТС

объективных и субъективных обстоятельств, и не оправдывает надежд, которые на него возлагались при его разработке. Результаты представленного исследования показывают, что при всём этом существует резерв повышения эффективности ММТС как с модернизацией, так и без неё. Предложенная программа модернизации ММТС позволит вывести её показатели назначения на уровень лучших монорельсовых транспортных систем мира.

В результате работы, проведенной совместно с ведущими поставщиками монорельсовых транспортных систем, найдены варианты модернизации ММТС с минимальными затратами, которые потребуют незначительного усиления части конструкций опор эстакады и не потребуют усиления балок пролётного строения. Использование предложенных вариантов обеспечит операционную безубыточность ММТС за счёт полной автоматизации перевозочного процесса.

### Ключевые слова

Монорельс, реконструкция, трамвай, ММТС, пассажирские перевозки, городской транспорт, метрополитен, эстакада.

*Monorail, reconstruction, tram, MMTS, passenger transport, urban transport, metro, overpass.*

### Список литературы

1. Amsori M. D., Mohd A. L., Amiruddin I., Rizaatiq O. K. R. Consumers satisfaction of public transport monorail user in Kuala Lumpur // *Journal of Engineering Science and Technology* – 2013. – № Vol. 8, No. 3. – С. 272–283.

2. A. Ghafooripour, O. Oguwada, S. Rezaei An efficient-cost analysis of monorail in the Middle East using statistics of existing monorail and metro models // *Urban Transport. – La Corunna: 2012.*

3. Shinya K, Akira O. Monorail Development and Application in Japan // *Journal of Advanced Transportation.* – 1988. – № 22. – С. 17–38.  
4. Xibe H. Application and Prospect of Straddle Monorail Transit System in China // *Urban Rail Transit.* – 2015. – № 1 (1). – С. 26–34.  
5. Kuwabara T, Hiraishi M, Goda K, Okamoto S, Ito A, Sugita Y. New Solution for Urban Traffic: Small-type Monorail System // *Hitachi Review.* – 2011. – № Vol. 50, No. 4. – С. 139–143.  
6. Peter E. Timan Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas // *Urban Rail Transit.* – 2015. – № 1 (1). – С. 139–143.  
7. Kennedy R. Considering Monorail Rapid Transit for North American Cities. 2002. – 44 с.

8. Винокуров В. А., Галенко А. А., Горелов А. Т., Фиронов А. Н. Тяговый наземный транспорт на новых технологических принципах: Монография – М.: МИИТ, 2004, часть I, II.  
9. Григорович А. М., Оганесов Г. И., Мавлянбеков Ю. У. Скоростной внеуличный транспорт на основе линейного тягового электропривода. // *Метро, 2000, № 3–4.*

10. Мнацаканов В. А. Предельные возможности метрополитена по провозной способности и скорости поездки пассажира // *«Метро и тоннели» № 3, 2002г.*

11. Мнацаканов В. А. Инновационный метропоезд «НеВа». Тягово-энергетические испытания. // *«Метро и тоннели» № 1- 2014г.*

12. Мнацаканов В. А. Законы электрической тяги / В. А. Мнацаканов // *Изв. Петерб. гос. ун-та путей сообщения.* – 2017. – Вып. 4 (14). – С. 657–663.  
13. Снос, саботаж или «Хай-Лайн». Чего ждать пассажирам московского монорельса? // *The Village – городской интернет-сайт* URL: <https://www.the-village.ru/village/city/architecture/313335-wowbaus-udnb> (дата обращения: 03.09.2020).

14. Гавриленков А. А., Соловьев В. В., Гавриленкова С. Н. Особенности определения затрат на реконструкцию транспортной инфраструктуры Москвы. *Транспортное дело России.* 2011. № 3. С. 76–77.  
15. Соловьев В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // *Экономика железных дорог.* № 6. 2016. С. 46–55.

16. Мнацаканов В. А. Инновационный метропоезд «НеВа». Тягово-энергетические испытания. // *«Метро и тоннели» № 1- 2014г.*

17. Мнацаканов В. А. Законы электрической тяги / В. А. Мнацаканов // *Изв. Петерб. гос. ун-та путей сообщения.* – 2017. – Вып. 4 (14). – С. 657–663.  
18. Снос, саботаж или «Хай-Лайн». Чего ждать пассажирам московского монорельса? // *The Village – городской интернет-сайт* URL: <https://www.the-village.ru/village/city/architecture/313335-wowbaus-udnb> (дата обращения: 03.09.2020).

19. Гавриленков А. А., Соловьев В. В., Гавриленкова С. Н. Особенности определения затрат на реконструкцию транспортной инфраструктуры Москвы. *Транспортное дело России.* 2011. № 3. С. 76–77.  
20. Соловьев В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // *Экономика железных дорог.* № 6. 2016. С. 46–55.

21. Мнацаканов В. А. Инновационный метропоезд «НеВа». Тягово-энергетические испытания. // *«Метро и тоннели» № 1- 2014г.*

22. Мнацаканов В. А. Законы электрической тяги / В. А. Мнацаканов // *Изв. Петерб. гос. ун-та путей сообщения.* – 2017. – Вып. 4 (14). – С. 657–663.  
23. Снос, саботаж или «Хай-Лайн». Чего ждать пассажирам московского монорельса? // *The Village – городской интернет-сайт* URL: <https://www.the-village.ru/village/city/architecture/313335-wowbaus-udnb> (дата обращения: 03.09.2020).

24. Гавриленков А. А., Соловьев В. В., Гавриленкова С. Н. Особенности определения затрат на реконструкцию транспортной инфраструктуры Москвы. *Транспортное дело России.* 2011. № 3. С. 76–77.  
25. Соловьев В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // *Экономика железных дорог.* № 6. 2016. С. 46–55.

26. Мнацаканов В. А. Инновационный метропоезд «НеВа». Тягово-энергетические испытания. // *«Метро и тоннели» № 1- 2014г.*

27. Мнацаканов В. А. Законы электрической тяги / В. А. Мнацаканов // *Изв. Петерб. гос. ун-та путей сообщения.* – 2017. – Вып. 4 (14). – С. 657–663.  
28. Снос, саботаж или «Хай-Лайн». Чего ждать пассажирам московского монорельса? // *The Village – городской интернет-сайт* URL: <https://www.the-village.ru/village/city/architecture/313335-wowbaus-udnb> (дата обращения: 03.09.2020).

29. Гавриленков А. А., Соловьев В. В., Гавриленкова С. Н. Особенности определения затрат на реконструкцию транспортной инфраструктуры Москвы. *Транспортное дело России.* 2011. № 3. С. 76–77.  
30. Соловьев В. В. Отраслевые особенности определения укрупнённых показателей стоимости строительства // *Экономика железных дорог.* № 6. 2016. С. 46–55.

**Для связи с авторами**  
Вакуленко Сергей Петрович post-uit@bk.ru  
Роменский Дмитрий Юрьевич dimeromy@yandex.ru  
Мнацаканов Валерий Александрович kamotltd@gmail.com  
Дорохов Алексей Васильевич info@c-dm.ru  
Власов Денис Николаевич dvlasov@genplanmos.ru





**23 ноября 2020 г. отпраздновал свой 80-летний юбилей замечательный советский и российский ученый, профессор, педагог Борис Арнольдович Картозия.**

Борис Арнольдович является потомственным инженером-шахтостроителем. Свою любовь к горному делу он унаследовал от отца Арнольда Теймуразовича Картозии, высокопоставленного работника угольной промышленности СССР. В 1963 г. Картозия-младший с отличием окончил Московский ордена Трудового Красного Знамени горный институт (в настоящее время институт в составе НИТУ «МИСиС») по специальности «Шахтное и подземное строительство», а затем три года работал сменным инженером на строительстве станции «Таганская» Краснопресненского радиуса в СМУ-6 Мосметростроя. Борис Арнольдович прошел весь тернистый путь становления как ученого и администратора. В 1966 г. заведующий кафедрой строительства подземных сооружений и шахт МГИ профессор Н. М. Покровский пригласил его на учёбу в аспирантуру, по окончании которой он защитил кандидатскую диссертацию. Б. А. Картозия остался на кафедре, работая сначала ассистентом, затем доцентом.

Потом он был послан на стажировку в Высшую национальную горную школу г. Нанси, Франция. С 1979 г., после защиты докторской диссертации, Борис Арнольдович возглавляет кафедру строительства подземных сооружений и шахт. С 1987 г. к этим обязанностям добавились обязанности первого проректора Московского государственного горного университета, которые он успешно выполнял до 2007 г.

В этот период Борис Арнольдович активно работает над научной проблематикой комплексного освоения подземного пространства недр: устанавливает общие закономерности влияния горно-строительных технологий на механическое состояние породных массивов, теоретически обосновывает положения о технологических неоднородностях как концентраторах напряжений, разрабатывает методы оценки и принципы управления напряженно-деформированным состоянием породных массивов путем регулирования параметров горно-строительных технологий, способы повышения устойчивости выработок в сложных геомеханических условиях на основе внедрения управляемых технологий крепления – «крепь регулируемого сопротивления». Результаты научных исследований Б. А. Картозии по совершенствованию конструкций подземных сооружений и технологии их строительства, выполненные лично им и под его руководством, успешно внедряются при строительстве угольных шахт и рудников России и Украины, а также подземных сооружений в Москве. Кульминацией научной деятельности Б. А. Картозии становится формирование методологических основ науки «Строительная геотехнология», включенной РАН в новую классификацию горных наук.

Впечатляет и публикационная активность Б. А. Картозии: 197 научных работ, в том числе 9 монографий, 13 учебников и учебных пособий, 13 изобретений и 1 патент. Он является соавтором научного открытия – «Явление возникновения самонапряженного состояния горной породы, сформировавшейся под действием внешних сил». Борис Арнольдович всегда уделял огромное внимание кадровому составу высшего эшелона горных инженеров для учебных заведений, научно-исследовательских и проектных организаций России, Украины, Грузии, Болгарии, Китая и Вьетнама. Им подготовлено 4 доктора и 15 кандидатов технических наук. Он мудрый и принципиальный наставник и учитель для студентов, магистров, аспирантов и докторантов.

Его научная деятельность закономерно ознаменовалась лауреатством Государственной премии СССР, премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, премии Правительства Российской Федерации в области образования, премии имени академика А. А. Скочинского.

Б. А. Картозия является почетным строителем России, почетным работником высшего профессионального образования РФ, действительным членом Российской академии естественных наук. Более 30 лет Б. А. Картозия является членом правления Тоннельной ассоциации России.

Высокое общественное признание научной и педагогической деятельности Б. А. Картозии отмечено многими званиями и наградами: медалями «За трудовую доблесть», «В память 850-летия Москвы», почетным знаком «Шахтерская слава» трех степеней, нагрудным знаком Государственного комитета СССР по народному образованию «За отличные успехи в работе», серебряной медалью ВДНХ, орденом Дружбы.

Борис Арнольдович – прекрасный литератор, обладающий искрометным юмором и тонким знанием жизни и людей. В настоящее время российский учёный-горняк, заслуженный деятель науки Российской Федерации Борис Арнольдович Картозия – профессор кафедры строительства подземных сооружений и горных предприятий Горного института НИТУ «МИСиС», советник ректората университета.

***Уважаемый Борис Арнольдович! От лица правления и исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляем Вас с юбилеем и желаем Вам здоровья и дальнейших творческих успехов!***

*Председатель правления Тоннельной ассоциации России К. Н. Матвеев  
Руководитель исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России А. Б. Лебедевков*

# КИТАЙСКИЙ ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА СВЕРХДЛИННЫХ И СВЕРХГЛУБОКИХ ГОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

## CHINESE EXPERIENCE IN CONSTRUCTION OF EXTRA LONG AND EXTRA DEEP MINING TUNNELS: PROBLEMS AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT

**В. В. Космин**, к. т. н., Российская академия транспорта

**В. Е. Меркин**, д. т. н., проф., НИЦ Тоннельной ассоциации

**V. V. Cosmin**, Ph.D. (Engineering), Russian Academy of Transport, Moscow

**V. E. Merkin**, Dr. Sci. (Engineering), Full prof., Research Center of the Tunnel Association, Moscow

**Анализируется накопленный в Китае обширный и богатый опыт строительства и эксплуатации сверхдлинных (более 10 км) и сверхглубоких (глубже 500 м от дневной поверхности) горных тоннелей, которых в стране насчитывается 56 (в остальных странах суммарно 21). Дана характеристика инженерно-геологических, инженерно-гидрологических и сейсмических условий районов расположения китайских тоннелей. Описаны особенности изысканий, проектирования, строительства и обеспечения эксплуатации сверхдлинных и сверхглубоких горных тоннелей с акцентом на обеспечение безопасности строителей и эксплуатационников, в первую очередь вентиляция и сейсмостойкость.**

*The extensive and rich experience accumulated in China in the construction and operation of the ultra-long (more than 10 km) and the ultra-deep (deeper than 500 m from the surface) mountain tunnels, of which there are 56 in the country (in other countries, a total of 21), analyzed. The characteristics of the engineering-geological, engineering-hydrological and seismic conditions of the areas where such Chinese tunnels located are given. The features of the survey, design, construction and maintenance of the operation of ultra-long and ultra-deep mountain tunnels with an emphasis on ensuring the safety of builders and operators, primarily ventilation and seismic resistance described.*

Успехи тоннелестроителей КНР общеизвестны и ставят их практически на первое место в мире. Наряду с крупномасштабным развитием сети метрополитена [1] в Китае накоплен богатый опыт прокладки сверхдлинных и сверхглубоких горных тоннелей, к которым относятся сооружения длиной более 10 км и на отметках глубже 500 м от дневной поверхности. Таких тоннелей в Китае насчитывается 56 (в других странах – суммарно 21), в том числе двухпутный железнодорожный тоннель New Guanjiào Tunnel длиной 32,7 км (самый длинный в мире тоннель на высоте более 3000 м) взамен существующего, в восемь раз более длинного, самый длинный в мире 18-километровый двухполосный автотолорожный тоннель в горах Qinling Zhongnan и самый длинный в Азии 16-километровый двухпутный железнодорожный тоннель Qinling Tianhuashan для высокоскоростного движения.

К особенностям сверхглубоких и сверхдлинных тоннелей относятся большие напряжения в горном массиве, повышенные температуры, высокое гидравлическое давление и другие особо неблагоприятные условия. Для эксплуатации и технического об-

служивания сверхдлинных тоннелей должны быть в полной мере воплощены концепции динамичного эвакуационного спасения, активной защиты, энергосбережения и защиты окружающей среды для решения значительных проблем, связанных с вентиляцией, аварийно-спасательными ситуациями и потреблением энергии. Кроме того, необходимо интегрированное строительство и обслуживание для достижения цифрового зондирования и интеллектуального обслуживания. Новые идеи и технологии должны быть приняты для повышения качества и эффективности всего процесса строительства и эксплуатации, а также для обеспечения возможности строительства экологически чистых тоннелей, таким образом достигая конечных целей безопасности, эффективности, экологичности и интеллектуальности для сверхдлинных и сверхглубоких скальных тоннелей.

В связи с указанным возникают беспрецедентные задачи в отношении проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания, которые требуют новых идей и технических решений.

Тоннели рассматриваемого типа обычно пересекают несколько геологических и тек-

тонических блоков, что может вызвать внезапные обрушения породы, значительные деформации окружающих массивов горных пород, оползни и даже образование и прорывы грязевых потоков во время строительства, эксплуатации и технического обслуживания тоннеля.

Исследования и опыт показывают, что геонапряжения растут по мере углубления тоннеля и существенно влияют на давление, деформации и устойчивость массива окружающей горной породы. Примеры катастрофических проявлений такого рода отмечены китайскими тоннелестроителями в своей практике неоднократно (см. библиографический список к [3]).

Под влиянием геотермального градиента и активных тектонических движений в сверхглубоких тоннелях часто повышается температура, причём чем больше глубина, тем в большей степени. Например, тоннель Санчжулин железной дороги Лхаса – Линжи, проложенный на глубине до 1347 м: максимальная температура достигала 89,9 °С, что близко к точке кипения воды в Тибете. Горный тоннель Гаолигонг железной дороги Дали – Руили пройден на максимальной глубине 1155 м, и максимум температуры

составил 45 °С. Это ухудшило условия строительства, понизило производительность труда, создало угрозу здоровью и безопасности работников. Дополнительные температурные напряжения привели к растрескиванию обделки и облицовки, понизив уровень безопасности и долговечность конструкции тоннеля. Поэтому исследование термостойкости бетонной смеси и гидроизоляционных материалов для сверхглубоких и сверхдлинных тоннелей обязательно.

В сверхглубоких тоннелях в горных районах с большим водопритоком, особенно при наличии неблагоприятных геологических условий, таких как разломы и карстовые образования, проблемы, связанные с высоким гидравлическим давлением, неизбежны. Приходится прибегать к предварительной цементации для укрепления вмещающих горных пород, к формированию несущих конструкций, выдерживающих высокое гидравлическое давление и исключающих поступление грунтовых вод. Однако до настоящего времени нет научно обоснованных и систематических методов для сброса гидравлического давления и снижения расхода грунтовых вод.

Наряду с перечисленными, в районах сверхглубоких и сверхдлинных тоннелей встречаются такие типичные неблагоприятные геологические условия как разломы, мягкие породы, карстовые и угольные пласты. Выбросы газа, вызванные угольным пластом, могут легко спровоцировать взрывы и образование удушьяющих газов. По сравнению с короткими, средними и длинными тоннелями в сверхдлинных и сверхглубоких тоннелях эти неблагоприятные явления встречаются с большей вероятностью.

Особые проблемы возникают при прокладке сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей в сейсмоопасных районах. Землетрясения неизбежно повреждают и частично разрушают тоннели.

Исследование 55 тоннелей в эпицентре землетрясения в районе Вэньчуань показало, что конструкции 38 из них пострадали в разной степени; и повреждения в основном коснулись тоннельных порталов, а также обделок как следствие неравномерных деформаций тоннельных конструкций и окружающей грунтовой толщи. Необходимо разработка методов строительства упругих элементов для сверхдлинных тоннелей в зонах повышенной сейсмической интенсивности. Проектные решения, расчётный срок службы и тип конструкции тоннельной обделки должны определяться с учётом геологических условий вмещающих пород.

Для сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей упомянутые геологические проблемы более вероятны и сопровождаются более серьёзными последствиями. Для их предотвращения наиболее важной задачей является обеспечение точного и надёжного

предварительного геологического прогнозирования. Для горных тоннелей, прокладываемых на глубинах более 500 м, очень трудно выполнять традиционное вертикальное бурение. Вместо этого эффективнее опережающее геологическое прогнозирование. Его выполняют с помощью разных методов. К их числу могут быть отнесены опережающее бурение (оно дорогостоящее, трудоёмкое и длительное, а длина упреждения небольшая), применяемое в пластах со сложными геологическими условиями и при избытке грунтовых вод, а также геофизические методы во всём их разнообразии (микросейсмика, акустика, инфракрасная съёмка, электроразведка и др.) для обнаружения структурных плоскостей массива горных пород, их свойств, а также грунтовых вод перед тоннелем.

Серьёзную проблему при проектировании сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей составляет ограниченность материалов инженерно-геологических исследований. В результате по ходу строительства инженерно-геологические оценки изменяются и могут сильно отличаться от первоначальных. Вследствие этого остро стоит задача разработки высокоточных методов сбора и анализа данных для оперативного изменения проектных решений в новых инженерно-геологических условиях. При этом возникают три основные проблемы.

1. Отсутствует быстрый и точный метод сбора основных данных. Получение точных данных о величине и распределении напряжённого состояния горных пород на месте проведения работ затруднено. Имеет место дефицит высокоточных и автоматизированных средств для получения геометрических и механических параметров горного массива в строительстве. Точность углублённого инженерно-геологического прогноза в значительной степени зависит от опыта операторов, а данные мониторинга подвержены помехам и не имеют своевременной обратной связи.

2. Расчётные параметры, полученные на основе полевых исходных данных, недостаточно надёжны. Метод проектирования, основанный на классификации окружающих горных пород, несовершенен, особенно применительно к конкретным условиям. Кроме того, недостаточно гибкости в ситуациях с анизотропными окружающими породами, поэтому получение конкретных базовых данных на месте работ чрезмерно усложнено, а применение численного анализа и других методов для адаптации процесса динамичного проектирования при одновременном удовлетворении высоких требований к точности затруднено.

3. Распределение ответственности в процессе управления строительством нечёткое, процессы взаимодействия подрядчиков, проектировщиков и заказчика забюрократизированы, переусложнены и длительны.

Характеристики горной массы и напряжённое состояние глубоких тоннелей

сильно отличаются от тоннелей меньшего заложения. В глубоких слоях влияние тектонических напряжений относительно невелико, а объёмные напряжения значительные. Это предопределяет необходимость использования истинного объёмного критерия прочности. Геоинженерные характеристики глубоких пластов предопределяют предпочтительность применения тоннелей круглого сечения по сравнению с подковообразными с позиции напряжений в конструкциях.

В связи с высокой вероятностью поступления новых, уточнённых инженерно-геологических и прочностных характеристик в ходе строительства важными становятся и особое значение приобретают скорость и точность непрерывного сбора и обновления базовой информации, которая, будучи получена на этапе предварительного исследования, не может точно отражать изменения напряжения, возникающие во время строительства тоннеля. Уточнённая, более адекватная информация может быть получена с помощью мелкомасштабных испытаний грунтов под нагрузкой в естественных условиях. На этой основе, используя стереоскопическую цифровую фотографию и технологию трёхмерного лазерного сканирования, можно быстро получить трёхмерные облака точек на поверхности массива горных пород в процессе строительства. Эта информация может быть обработана в режиме реального времени для автоматизированного уточнения проектных решений.

Разнообразие и сложность топографических и инженерно-геологических условий, обычно характерные для сверхдлинных тоннелей, приводят к специфическому поведению горных пород и тоннельных конструкций в сверхдлинных тоннелях по сравнению с обычными тоннелями. В прошлом сейсмостойкое проектирование тоннелей не учитывало это обстоятельство при рассмотрении сейсмических волн. Однако оказалось, что неоднородность сейсмических воздействий по длине тоннеля может значительно усилить напряжения и деформации тоннельной конструкции. Китайскими исследователями получено теоретическое решение для оценки продольной сейсмической волны в случае сверхдлинного тоннеля с использованием эффекта бегущей волны, воплощённое в достаточно простой метод сейсмостойкого проектирования таких тоннелей.

Аналогичная ситуация характерна в отношении напряжений в тоннеле: они растут по мере углубления тоннеля. В настоящее время отсутствует метод сейсмостойкого проектирования и анализа для тоннельных конструкций в условиях высоких тектонических напряжений в районах с высокой сейсмичностью. Необходимы дополнительные исследования катастрофических механизмов и контрмер по проектированию сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей на случай сильных землетрясений.

Основными методами проходки сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей являются буровзрывной и с применением ТПМК. Экономичность последнего, согласно [Zhou J., Yang Z. Discussion on key issues of TBM construction for long and deep tunnels // Rock Soil Mech. – 2014; 35: 299-305. Chinese. (Цит. по [3])], обеспечивается при отношении длины тоннеля к его диаметру более 600. Однако инвестиции в оборудование ТПМК высоки, и требуются работники с высоким техническим уровнем профессиональной подготовки. Гибкость конструкции и приспособляемость этого способа ограничены (например, невозможно изменить диаметр тоннеля, и существует ограниченная приспособляемость к изменению в условиях пласта).

Серьезную проблему в отношении сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей пред-

ставляет их вентиляция. Обычные методы вентиляции – механическая приточная вентиляция, вытяжная вентиляция, гибридная вентиляция и вентиляция вспомогательными каналами – малоприменимы и малоэффективны вследствие большой их длины. К числу общих проблем вентиляции относятся её схема и компоновка, выбор вентиляционных машин и оборудования.

Необходим тщательный анализ диффузии токсичных газов как во время строительства, так и при эксплуатации, выполняемый с помощью программного обеспечения для решения задач вычислительной гидродинамики.

В дополнение к требованиям по разбавлению загрязняющих веществ при нормальных условиях эксплуатации, тоннельная вентиляция должна соответствовать требованиям по

дымоудалению в случае пожара. На смену горизонтальной и полугоризонтальной вентиляции в 1970–1980 гг. в автодорожных тоннелях пришла продольная вентиляция. Продолжают появляться новые методы, такие как дополнительная двухствольная вентиляция, приточная вентиляция с одним каналом и вентиляция с использованием служебного тоннеля.

Строительство сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей в горных районах становится всё более актуальным в современных условиях социально-экономического развития. Направления будущего развития таких тоннелей вытекают из целей безопасного, эффективного, экологичного осуществления этих объектов, относящихся к категории уникальных.

Во-первых, должно быть обеспечено безопасное и эффективное строительство, экс-

#### КРУПНЕЙШИЕ ГОРНЫЕ ТОННЕЛИ КИТАЯ

Тоннель (дорога)	Период строительства	Длина, км
<b>ГОРНЫЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ ТОННЕЛИ</b>		
Gaoligong Mountain (ж. д. Dali – Ruili)	дек. 2014 – строится	34,50
New Guanjiao (ж. д. Qinghai – Tibet)	ноя. 2007 – апр. 2014	32,65
Ping An (ж. д. Chengdu – Lanzhou)	окт. 2013 – февр. 2017	28,44
South Lvliang Mountain (ж. д. Shanxi – Henan – Shandong)	май 2010 – июнь 2013	23,40
Yuntunpu (ж. д. Chengdu – Lanzhou)	окт. 2014 – строится	22,92
Dalata (ж. д. Sichuan – Tibet)	окт. 2015 – строится	17,32
Sangzhuling (ж. д. Sichuan – Tibet)	дек. 2014 – янв. 2018	16,45
Qinling Tianhuashan (BCM Xi'an – Chengdu)	янв. 2013 – июль 2016	15,99
Dagushan (BCM Lanzhou – Urumqi)	март 2010 – февр. 2014	15,92
Zhujiashan (BCM Xuzhou – Lanzhou)	янв. 2013 – авг. 2016	14,95
Beacon Hill (BCM Xuzhou – Lanzhou)	март 2013 – май 2015	14,75
Dayaoshan (ж. д. Hengyang – Guangzhou)	ноя. 1981 – май 1987	14,30
Tianping (ж. д. Chongqing – Guiyang)	апр. 2013 – июль 2016	13,98
Maijishan (BCM Xuzhou – Lanzhou)	янв. 2013 – апр. 2016	13,93
Ba Yu (ж. д. Sichuan – Tibet)	дек. 2014 – строится	13,07
East Qinling (ж. д. Nanjing – Xi'an)	янв. 2005 – янв. 2007	12,27
Zongfa (ж. д. Chengdu – Kunming)	сент. 2014 – май 2017	11,97
Yuanliangshan (ж. д. Yuhuai)	март 2001 – февр. 2004	11,07
Qiyueshan (ж. д. Yichang – Wanzhou)	дек. 2003 – дек. 2009	10,53
<b>ГОРНЫЕ АВТОДОРОЖНЫЕ ТОННЕЛИ</b>		
Zhongnanshan (а. д. Xi'an – Ankang)	март 2002 – янв. 2007	18,02
Jinpingshan (транспортный тоннель к гидроэлектростанции)	окт. 2003 – авг. 2008	17,5
Muzhailing (скоростная а. д. Weiyuan – Wudu)	апр. 2016 – строится	15,23
Micangshan (скоростная а. д. Sichuan – Ba Shan)	окт. 2013 – авг. 2018	13,81
Xishan (скоростная а. д. Taigu)	май 2009 – окт. 2012	13,65

Источник: Nehua Zhua, Jinxiu Yanb, Wenhao Liangc. Challenges and Development Prospects of Ultra-Long and Ultra-Deep Mountain Tunnels // Engineering. – 2019. – №5. – P. 384–392.

### Самый длинный железнодорожный тоннель в Китае

Новый тоннельный транспортный переход Гуаньцзяо длиной 32,605 км на железной дороге Цинхай – Тибет (КНР) – ключевой элемент второго участка Синин – Голмуд электрифицированной железной дороги Цинхай – Тибет для пропуска грузовых и пассажирских поездов со скоростями до 160 км/ч по двум парал-

лельным однопутным тоннелям, специализированным по направлениям движения. Основная задача нового тоннеля – улучшение эксплуатационных показателей линии и повышение ее экономической эффективности.

Тоннельный переход расположен на средней высоте 3400 м. Среднегодовая температура минус 0,5 °С, атмосферное давление около 60 кПа, низкое со-

держание кислорода.

В процессе возведения тоннеля, район строительства которого характеризуется сложными инженерно-геологическими условиями, на некоторых участках возникли большие деформации, имели место прорывы подземных вод в районах пересечения речных долин.

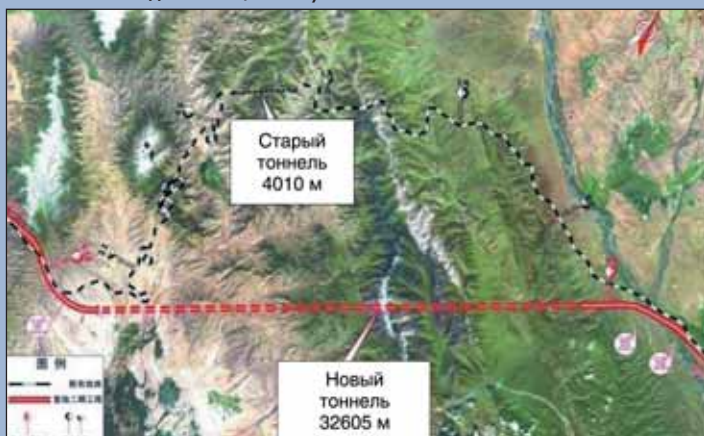
Большое внимание было уделено вентиляции тоннеля и со-

зданию системы подачи воздуха как в процессе строительства, так и для будущей эксплуатации.

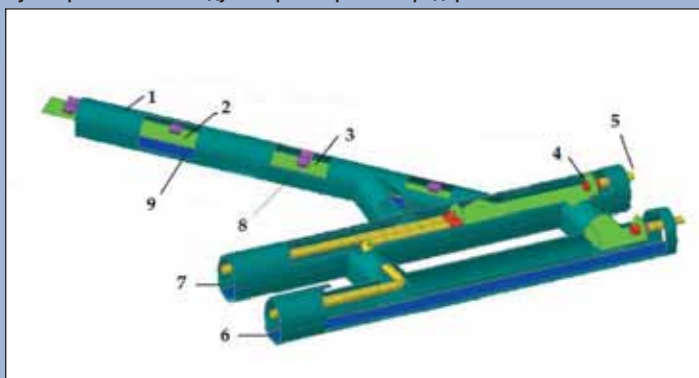
Строительство началось в ноябре 2007 г., движение открыто в декабре 2014 г. Общий объем инвестиций составил 730 млн долл. США.

В 2016 г. Новый тоннель Гуаньцзяо удостоен премии Международной тоннельной ассоциации.

Схема трассы Нового тоннеля Гуаньцзяо (старый тоннель длиной 4,010 км; новый тоннель длиной 32,605 км)



Фрагмент системы вентиляции: 1 – наклонный ствол; 2 – воздушный подающий канал; 3 – диафрагма; 4 – вентилятор с осевым потоком; 5 – воздуховод; 6 – Восточный тоннель; 7 – Западный тоннель; 8 – струйный вентилятор; 9 – выпуск отработанного воздуха и транспортный коридор



Источники:

[https://en.wikipedia.org/wiki/New\\_Guanjiao\\_Tunnel](https://en.wikipedia.org/wiki/New_Guanjiao_Tunnel)

<https://awards.ita-aites.org/images/Proceedings/2016/24-THE-NEW-GUANJIAO-TUNNEL-ON-QINGHAI-TIBET-RAILWAY.pdf>

плуатация и техническое обслуживание. Должны быть разработаны высокоэффективные методы упреждающего геологического прогнозирования. Необходимо синтезировать различные методы предварительного прогнозирования, такие как бурение и геофизический прогноз. Кроме того, автоматическое извлечение геологической информации о груди забоя тоннеля может быть реализовано с помощью цифрового метода быстрого сбора данных. Основываясь на больших данных (Big Data) об окружающем горном массиве, машинное обучение может обеспечить надёжную основу для безопасного строительства. Должна быть разработана соответствующая механизированная строительная техника. Реально просматриваются улучшения возможностей по предотвращению стихийных бедствий и повышению устойчивости тоннелей на основе новых материалов, усиление мониторинга и анализа данных для улучшения возможностей противостояния стихийным бедствиям, повышение эффектов вентиляции тоннелей и условий строительства с помощью современных технологий управления.

Во-вторых, обеспечение безопасного и эффективного строительства тоннелей должно опираться на концепции «зелёного тоннеля». Проекты строительства тоннелей

рассматриваемого здесь типа должны отражать важность защиты окружающей среды исходя из следующих пяти аспектов: энергосбережение, водосбережение, экономия материалов, рациональная экологическая и экономическая рекультивация земель, защита окружающей среды, сводящая к минимуму воздействие строительства тоннеля на окружающую экологическую среду.

В-третьих, интеграция современных информационных технологий при строительстве сверхдлинных и сверхглубоких горных тоннелей, применение современного оборудования, в том числе интеллектуального, с цифровым сбором информации, сетями связи нового поколения (такие как сети 5G, Интернет вещание (IoT), мобильная связь и т. д.), методы анализа больших данных и искусственного интеллекта, методы облачных вычислений и т.п. в строительстве, эксплуатации и техническом обслуживании тоннелей.

Описанный опыт китайских тоннелестроителей может представить интерес для строительства перспективных для России сверхдлинных и сверхглубоких тоннелей через Берингов пролив, пролив Лаперуза и т. д.

### Ключевые слова

Безопасность подземного строительства, вентиляция в тоннеле, инженерно-гео-

логические изыскания, информационные технологии в тоннелестроении, методы проходки тоннелей, особенности горных массивов на больших глубинах, сейсмостойкость.

*Earthquake resistance, engineering and geological surveys, features of mountain ranges at great depths, information technology in tunnelling, safety of underground construction, tunnelling methods, ventilation in the tunnel.*

### Список литературы

1. Космин В. В. Сеть метрополитена в КНР // Метро и тоннели. – 2019. – № 1. – С. 42–43.
2. Jenny Yan speaks of tunneling in China. URL: <https://www.tunneltalk.com/Discussion-Forum-Apr2019-Jenny-Yan-of-China-speaks-of-ITA-ambitions-and-tunnelling-in-China.php>. Дата обращения: 20.08.2020.
3. Hehua Zhua, JinxiuYanb, Wenbao Liangc. Challenges and Development Prospects of Ultra-Long and Ultra-Deep Mountain Tunnels // Engineering. – 2019. – № 5. – P. 384–392.

### Для связи с авторами

Космин Владимир Витальевич  
vvcosmin@mail.ru  
Меркин Валерий Евсеевич  
mve11@inbox.ru



## КАК ЭТО НАЧИНАЛОСЬ НА МАНЕЖЕ (ПАМЯТИ МИХАИЛА СЕМЕНОВИЧА РУДЯКА)

**А. И. Музыкантский**, к. т. н., проф., факультет мировой политики МГУ

**Михаил Семёнович Рудяк родился 1 апреля 1960 г. в Староконстантинове. В 1976–1982 гг. учился на Геологическом факультете МГУ. В 1988 г. создал строительный кооператив «Ингеоком», в 1993 – преобразованный в ЗАО «Объединение «Ингеоком», которое впоследствии стало одним из лидеров российского строительного бизнеса. Компания «Ингеоком» возводила в Москве жилые дома, подземные сооружения, в частности, построила торгово-развлекательный комплекс «Атриум» на площади Курского вокзала, линию метрополитена от ММДЦ «Москва-Сити» до станции «Киевская», а кроме того выиграла конкурсы на проектирование многоярусной стоянки в аэропорту Домодедово и строительство метро в одной из стран Восточной Европы... (из Википедии)**

Трудно писать о Мише в прошедшем времени.

Прокручивая в памяти многочисленные встречи с ним и дома, и в рабочих кабинетах, и на его знаменитых днях рождения, где он собирал пол-Москвы, удивляюсь, как много места он занимал в моей жизни. Кажется, что он был в ней всегда.

Конечно же, это не так. Я не был с ним знаком в годы его студенчества и в годы его геологической юности. Но об этом времени я знаю очень много по его замечательным байкам, которые он так умел и любил рассказывать. Эти байки создавали у слушателя своеобразный «эффект присутствия». Может быть, отсюда и впечатления о давности знакомства.

Но фактически я познакомился с Михаилом в 1990 или в 1991 г. Ему было тридцать, мне – пятьдесят. Он был основателем и владельцем фирмы «Ингеоком», я только что стал префектом ЦАО. И знакомство состоялось на вполне производственной почве. Разворачивалась реконструкция исторического центра города, Ингеоком принял в ней участие. Работы было много, под реконструкцию попадало сразу много объектов.

Но, без сомнения, самым знаковым, самым престижным в те годы объектом стал проект реконструкции Манежной площади. Необычность, грандиозность и смелость замысла поднимали его до уровня символа реконструкции и возрождения столицы. Именно там я по-настоящему познакомился с Михаилом Рудяком. Именно там, на Манеже вошла его звезда.

В 1991 или в самом начале 1992 г. был проведен открытый конкурс на проект реконструкции Манежной площади. Причин интереса к этому проекту было несколько. Во-первых, иметь в самом центре города 5,5 га чистого асфальта для европейской столицы просто неприлично. Во-вторых, по-видимому, уж больно сильное впечатление произвели на власть знаменитые демонстрации на Манежной площади, которые в 1989–1990 гг. собирали и 100, и 200 тысяч человек. Поэтому иметь в центре столицы эти гектары было не только неприлично, но и опасно. Наверное,



**А. И. Музыкантский**

были и еще какие-то соображения, но конкурс был объявлен, проведен. И неожиданно для всех победителем стал почти никому не известный архитектор Борис Улькин (в те времена такое еще могло случаться).

Его проект реконструкции Манежной площади, безусловно, носил печать гениальности. И это увидели все члены жюри, присудившие ему первое место. Позднее, когда работы на Манеже развернулись на полную мощь, Улькин был как-то незаметно отнесен от проекта. За дело взялись профессионалы Москомархитектуры и в проект были внесены радикальные изменения, которые его коренным образом ухудшили. Но тогда до всего этого было еще далеко. Тогда еще никто не мог сказать, будет ли вообще реализовываться в самом сердце Москвы этот сверхамбициозный проект.

Я одолжил у Бори Улькина восемь планшетов его проекта и разместил их в своем рабочем кабинете на Тверской, 13. И месяца полтора любой разговор с тем, кто заходил в кабинет, начинался с вопроса: «А это что такое?» – и моего объяснения сути замечательного проекта. Тогда у меня появился и Миша Рудяк. Это была одна из первых, если вообще не первая наша встреча. Обсуждали возможность участия Ингеокома в работах по усилению фундаментов исторических зданий в центре. Одна из фирм-подрядчиков предлагала свои услуги в проведении этих работ, называя при этом совершенно запредельные



**М. С. Рудяк**

сроки и не менее фантастические суммы. Помню, Миша тогда сказал, что может выполнить эту работу месяца за три и вообще бесплатно, в качестве демонстрации возможностей своей фирмы. На том и порешили.

И, конечно же, мы говорили про проект реконструкции Манежной площади. Проект не мог не понравиться, и Мише он понравился тоже. Он сразу оценил и красоту замысла, и сложность инженерного решения, и громадный объем работ, и геологические риски.

Между тем, планшеты из моего кабинета переехали в кабинет мэра Москвы Ю. М. Лужкова. Он назначил совещание с обсуждением проекта. Народу присутствовало немного. Улькин доложил, Юрий Михайлович задал пару вопросов. Обсуждение было очень коротким. Мэр подвел итоги: «Будем строить». И тем самым взял на себя всю меру ответственности. Ведь никто не мог бы сказать ему ни слова упрека, если бы он отказался или вообще не поднимал вопроса об этом строительстве. Этого проекта не было ни в одном Генплане, ни в одном перечне обязательств. А учитывая непосредственную близость Кремля, Исторического музея, гостиницы «Москва», казаковских зданий Московского университета, исторического здания Манежа – геологические и гидрогеологические риски превращались в риски поистине геополитические.

Но, тем не менее, решение было принято, и стройкомплекс под руководством В. И. Ре-



Манежная площадь (Площадь 50-летия Октября) в 1967–1990 гг.

Манежная площадь. Февраль 1990 г. 200 тыс. москвичей на митинге



Реконструкция Манежной площади

Ю. М. Лужков



сина взялся за работу. Бедный Боря Улькин со своими двенадцатью проектировщиками старался, как мог. Но куда там! В дело вступили тяжелые мастодонты: многочисленные Моспроекты, генподрядчиком был определен Мосинжстрой во главе с С. И. Свирским, а генпроектировщиком – ГУП «Мосинжпроект» во главе с удивительной женщиной-руководителем С. Ф. Панкиной. Уже через полгода строителям требовалась проектная документация на 50 млн в день.

А на это время Манежная площадь была отдана в полное владение археологов, которыми руководил А. Векслер – начальник археологического отдела Управления охраны памятников Москвы. Это было золотое время московских археологов: любая стройка в историческом центре начиналась с археологических исследований. Мише, оказывается, археология тоже нравилась – наверно сказывалась родственность душ геологов и археологов. Он тогда здорово помогал Векслеру: объем работ у археоло-

гов был такой, что без техники и без инженерного обеспечения они не могли обойтись.

Мы тогда довольно часто встречались, и за обсуждением производственных тем выяснилось, что и Миша, и Векслер – замечательные рассказчики. Те байки, которые рассказывал Миша, заслуживают отдельного издания и, я надеюсь, оно когда-нибудь появится. А одну байку от Векслера, которую он рассказывал нам с Мишей, и которая особенно ему понравилась, не удержусь, расскажу здесь.

– Дело было в начале 1948 г., – рассказывал Векслер. – Я тогда был совсем молодым, только начинал работать в московской археологии. И тогда я услышал эту историю, которая была популярна среди московских археологов. Группу археологов вызывают в Кремль, – продолжает Векслер – и комендант Кремля обращается к ним: «Дорогие товарищи археологи, Москва в этом году отмечает 800-летие. Это очень хорошо. Но что получается, посмотрите на другие города: Киев отмечает 1500 лет, Тбилиси 2000, а Самарканд вообще аж 3000 лет. Это уже не хорошо. Москва – столица, собирательница земель и нехорошо, если находятся у нас в СССР города ее старше. Поэтому мы готовы вам оказать любую помощь, копайте хоть на Красной площади, хоть в Кремле. Но от вас нужны материалы, доказывающие, что Москва – старейший город». Мы все сидим ошарашенные, – продолжает Векслер – и один кто-то тихо так говорит: «Так ведь есть же летописи». А генерал услышал и отвечает: «Товарищи археологи, не волнуйтесь. За летописи отвечает другой генерал».

Этот разговор происходил на бровке раскопа в 30 м от гостиницы «Националь». А внизу под ногами – вскрытое археологами кладбище разрушенного Моисеевского монастыря. Всего полтора метра от поверхности, и в том месте, где десятилетиями поток автотранспорта был наиболее интенсивным, а два раза в год по праздникам грохотали танки. Монастырь был небольшим, но существовал более трех веков и поэтому гробов на том кладбище несколько сотен. Миша помог деньгами и транспортом, и все гробы были перевезены на подмосковное кладбище и захоронены по православному обряду.

Но в то время в больших работах на Манеже Ингеоком еще не участвовал. Его час настал примерно через год. Обстоятельства привлечения его к работам на Манежной площади были драматическими, а участие в работах стало триумфальным.

К этому времени стройка на Манеже подошла к критической стадии. Усилиями Московского стройкомплекса и его субподрядчиков был сооружен огромный котлован. Он занимал, практически, все свободное пространство площади от здания Манежа до гостиницы «Москва». И этот гигантский котлован глубиной 30 м был причиной страшной головной боли городского руководства. «Стена в грунте», ограждающая котлован, была выполнена субподрядчиком (если не ошибаюсь, немецкой фирмой «Бауэр»), мягко говоря, не лучшим образом. Ее приходилось латать во многих местах. Изменение гидрогеологического режима могло в любой момент привести к неприятнейшим сюрпризам: прорыв в котлован грунтовых вод, выпор грунта, обрушение стенок котлована и т. п. – это вело к катастрофе. Нужно было как можно быстрее устроить в котловане фундаментную плиту, которая гарантировала бы защиту от подобных неприятностей. Но проект фундамента предусматривал устройство в котловане 1200 буровых свай диаметром 1,2 м. Только после этого можно было бетонировать плиту толщиной 2 м, и только после этого можно было вздохнуть более или менее спокойно.

Ситуация усугублялась постоянным вниманием общественности к стройке на Манеже. Это и понятно. Сооружения такого рода возводятся в столице не каждое столетие. Не проходило и недели, чтобы не появилась в каком-либо издании алармическая статья о том, что здание Исторического музея уже наклонилось, а гостиница «Москва» уже сползает в котлован. Не отставали от газетчиков и их коллеги – телевизиончики. И хотя осуществлялся мониторинг положения всех зданий, и была принята программа научного сопровождения всех инженерных работ, свой вклад в общий уровень нервозности городского руководства подобные публикации, конечно, добавляли.

Итак, ситуация простая до прозрачности, и драматическая до неправдоподобия.

В самом центре столицы, в непосредственном соседстве с Кремлем, открыт грандиозный котлован, в котором нужно как можно быстрее соорудить фундаментную плиту. Для этого нужно в котловане забурить 1200 свай. Любое промедление чревато самыми печальными последствиями. Но вот только в городе нет ни одной строительной организации, которая такую работу может выполнить.

За дело взялся Владимир Иосифович Ресин. Его огромный жизненный и инженерный опыт подсказал ему, где искать нужных специалистов. Через пару недель на планерке у него появился Трансстрой и еще какие-

то неведомые мне ранее Союзшахтострой, Союзшахтоводоосушение, Союзводопонижение и еще что-то в таком же роде. Это были осколки громадного Союзного стройкомплекса. Все они к тому времени уже акционировались, превратились в корпорации, все потеряли значительную часть заказов и готовы были взяться за любую работу. Быстро поняв, что по отдельности никто из этих монстров со всем объемом работ не справится, Владимир Иосифович нарезал весь котлован на шесть ломтей и каждому монстру предоставил одну делянку с задачей забурить на ней 200 свай. Но одного монстра все-таки не хватало или кто-то отвалил на самой ранней стадии, уже не помню. Вот тогда я предложил Ресину привлечь Ингеоком. «Кто это такой? Первый раз слышу». Ну, я ему рассказал: небольшая частная фирма, очень грамотные ребята, очень квалифицированно работают. При этом я ничего не придумывал. К этому времени, как и было обещано Михаилом, Ингеоком закончил работы по укреплению фундаментов на нескольких зданиях. И работа эта была выполнена не только быстро и недорого (первые два объекта вообще бесплатно), но и красиво.

Ресин кивнул головой: «Приглашай на планерку. Дадим ему шестой участок». Владимиру Иосифовичу нечего было терять. Видимо, самые первые общения с монстрами оптимизма ему не прибавили. А шестой участок – это самый трудный, около здания Манежа, там ближе всего подступали грунтовые воды, с этим участком было самое трудное транспортное сообщение и т. д.

Прекрасно помню эти рабочие планерки, которые В. И. Ресин каждую неделю проводил на Манеже.

– Так, как у нас обстоят дела с буровыми сваями? Союзшахтоводопонижение!? Пожалуйста, доложите нам.

– Мы запросили все свои подразделения, чтобы узнать у кого есть необходимое оборудование. Ответов пока нет.

– Союзшахтоосушение!?

– То же самое. Два подразделения уже ответили. У них оборудования нет.

И т. д. И т. п.

– Ингеоком!?

– Мы закупили в Италии две бурильные установки фирмы «Касагранда». Контракт оплачен, установки в пути, итальянские шеф-механики прибывают завтра.

– Так, подведем итоги. Жаль, очень жаль, что нам так и не удалось послушать по существу о том, как обстоят дела с буровыми сваями. Вот что я вам всем скажу. Хреново работаем. В конце месяца Юрий Михайлович будет проводить совещание на объекте. Чтоб на всех участках к этому времени началось бурение свай. Запишите это в протокол. Все. Еще через две недели.

– Теперь вернемся к вопросу о буровых сваях. Союзшахтоводоотведение!? Доложите, что у вас.

– На одном нашем подразделении в Кузбассе такое оборудование есть, туда поехали



А. Г. Векслер

наши специалисты, чтобы проверить в каком оно состоянии.

– Так. Понятно. Союзшахтрестрой!?

– Оборудование точно есть, мы его нашли, но оно десять лет лежало на базе и надо проверить комплектацию и опробовать.

И т. п. И т. д.

– Ингеоком!?

– Обе итальянские установки на площадке, смонтированы и опробованы. В соответствии с проектом забурили и забетонировали двенадцать свай.

– Как забетонировали? Точно забетонировали? Почему не доложили? Кто у нас отвечает за научное сопровождение проекта? Ильичев. Он здесь? Вот что, Вячеслав Александрович, Вам задание. Проверьте по всем параметрам, что там они делают, проведите испытания, оформите акты и доложите на следующей планерке.

Академик В. А. Ильичев, директор Института оснований и подземных сооружений, который осуществлял научное сопровождение инженерных работ на Манеже, просто откровенно обрадовался. Поскольку никаких других свай на площадке не было, весь арсенал научных испытаний, которым владели его сотрудники, обрушился на бедного Михаила. Чего только не проверяли. Алмазным инструментом просверливали тело свай

В. И. Ресин





В. А. Ильичев

на всю длину, чтобы определить отметку подошвы и плотность ее контакта с грунтом. На всю длину сваи определяли плотность укладки бетона. Проверяли на прочность бетонные кубики, вырезанные из тела сваи. И много чего еще. Михаил на все соглашался с легкостью и даже с какой-то веселостью. Он и сам предлагал совершенно изощренные методы контроля. Просто ему было интересно работать, и он был уверен за свою работу и за своих ребят.

Зато сценарий следующей планерки несколько изменился.

– Теперь о том, как обстоят дела с буровыми сваями. Ильичев, докладывайте.

– Провели весь комплекс испытаний. Оформили протоколы. Все результаты испытаний положительны.

– А это проверяли?

– Проверяли.

– А вот это?

– И это тоже.

– А вот это вот?

– Так прямо с этого мы и начали.

– И что?

– Я уже сказал. Все результаты положительные.

– Так. Рудяк (к этому времени В. И. Ресин уже знал фамилию начальника Ингеокома), сколько ты уже забуррил?

– Сто восемьдесят. Через два дня заканчиваю свой участок.

– Кто там, рядом с тобой? Союзшахтово-доподтолпение? Как у вас дела?

– Да мы нашли оборудование, но там нескольких узлов не хватает, сейчас ищем, где их можно достать.

– Так. Все понятно. Рудяк, немедленно переходи на следующий участок.

– А как же мы?

– А вам – до свидания.

Владимир Иосифович был непреклонен. Дело – прежде всего. В течение ближайших месяцев, последовательно вытесняя со своих участков неразворотливых монстров, Ингеоком забуррил то ли 1000, то ли 1100 свай из



Стройка «Москва-Сити»

требуемых 1200. С остальными справился Трансстрой. Еще через пару месяцев все свайное поле накрыли двухметровой фундаментной плитой, и отцы города могли вздохнуть спокойнее.

Вся эта история происходила на глазах у всего города, во всяком случае, на глазах всей столичной общественности и всей столичной строительной элиты. Несколько раз за это время рабочие совещания на площадке проводил Ю. М. Лужков. Он быстро понял «кто есть кто» в этой эпопее, и с тех пор Михаил Рудяк стал уважаемым человеком в московской строительной элите. А это спаянный, сбитый коллектив, который не слишком-то любит чужаков и новичков. И вот в течение нескольких коротких месяцев, буквально мгновенно в него ворвался новый человек, который никогда до этого в московском стройкомплексе не работал, даже строительный институт не заканчивал. И он на глазах у всех сделал то, что другие строители со всеми их амбициями сделать не смогли. Именно тогда, после своего триумфа на Манеже, Михаил был принят в среду московских строителей – а это по традиции ядро и сердцевина всей городской элиты. Михаил стал популярным и узнаваемым человеком в городе.

Но этот его успех обусловлен не только блестящими производственными достижениями. Не меньше его популярности способствовала та простота и легкость, которую он демонстрировал в общении. Он с какой-то легкостью и мальчишеской веселостью решал самые сложные проблемы (и не только технические). И с такой же легкостью и веселостью общался и со своими сотрудниками, и с друзьями, и с начальством, даже самым высоким.

От одного примера не могу удержаться. Когда Президент В. В. Путин вскоре после своего избрания ознакомился с московскими объектами, ему решили показать и стройку в «Сити». В то время Ингеоком заканчивал разработку котлована под центральное ядро.

Это циклопических размеров сооружение: полтора миллиона кубометров, 100 на 400 м в плане и 40 м глубиной. Размеры характерные скорее не для городских строительных объектов, а для гидротехнических сооружений. И вот, глядя с высоты строительного смотрового балкончика на копошащиеся на дне котлована человеческие фигуры и выглядящие сверху игрушечными самосвалы, Президент спрашивает: «А сколько же у вас здесь народу работает?». Михаил мгновенно отвечает: «Ну, чтобы Вам, Владимир Владимирович, было понятно, примерно полк», – и тут же получает локтем в бок от стоящего рядом Лужкова.

И таких примеров великое множество. Но дело не в них. Дело в другом. Миша обладал целым сплавом уникальных качеств. Он как никто другой умел дружить, и как никто другой умел обретать друзей. Редкий человек после одной, двух встреч с ним не ощущал себя его давним старинным другом. И каждому своему другу он готов был прийти на помощь. И он реально помогал своим друзьям, касалось ли это трудностей в работе, семейных проблем или здоровья. Да мало ли по какому поводу может человеку потребоваться помощь в сегодняшней нашей жизни. Еще к этому нужно добавить его принципиальную неспособность обманывать, ловчить, хитрить, подставлять, подводить, подличать. И в работе, и вообще по жизни.

Все вместе: огромный круг его друзей и поддерживаемый им уникальный эмоциональный уровень дружеских связей делали его совершенно особым человеком в Москве. Других таких я не знал.

Прошло уже много лет с его кончины, но то особое место, которое он занимал в моей жизни, в жизни огромного количества людей, осталось свободным, и вряд ли его кто-либо займет.

#### Для связи с автором

Музыкантский Александр Ильич  
aim@mccme.ru

