

Журнал
Тоннельной ассоциации России

Председатель редакционной коллегии

К. Н. Матвеев, председатель
правления ТАР

Зам. председателя редакционной коллегии

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

Ответственный секретарь

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

Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук
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. Курбацкий, доктор техн. наук
М. О. Лебедев, канд. техн. наук
И. В. Маковский, канд. техн. наук
Ю. Н. Малышев, академик РАН
Н. Н. Мельников, академик РАН
В. Е. Меркин, доктор техн. наук
А. Ю. Старков
Б. И. Федунец, доктор техн. наук
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук
Е. В. Щекудов, канд. 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

Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован
Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2018

№ 3 2018

Конгрессы ITA/AITES

Международный тоннельный конгресс в Дубаи 2

М. О. Лебедев

Метрополитены

Минский метрополитен: вчера, сегодня, завтра 12

В. В. Чеканов

Проектирование

Альтернативный расчет мощностей
тяговой подстанции метрополитена 18

А. Б. Куровский

В порядке обсуждения

О рентабельности Екатеринбургского метрополитена
первого периода эксплуатации
пускового участка второй линии 20

Е. С. Коноплев

Квантовые аспекты подземного строительства 26

Д. М. Мутушев, М. А. Мутушев

Щитовая проходка

Методика определения просадок грунта графо-
аналитическим способом при щитовой проходке тоннелей 30

Е. М. Науменко

ТПМК для грунтов переменной плотности -
сочетание двух технологий проходки в одном комплексе 34

К. Бэшpler, Ф. Баттистони, В. Бургер

Геофизический мониторинг

Оценка сплошности ограждающей конструкции
из буросекущихся свай методом
ультразвуковой дефектоскопии 40

М. П. Федорова, Т. А. Мыльникова

О тоннелях и тоннельщиках

Постперестроечные тоннели 46

В. З. Коган

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Строительство
первой линии
Минского метрополитена
(с. 12)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТОННЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС В ДУБАИ

М. О. Лебедев, заместитель генерального директора по НИР, к. т. н., доц., ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



С 21 по 26 апреля 2018 г. в столице Объединенных Арабских Эмиратов городе Дубаи прошел Международный тоннельный конгресс совместно с 44-й Генеральной ассамблеей МТА. Организатором мероприятия традиционно выступила Международная тоннельная ассоциация совместно с Тоннельной ассоциацией Объединенных Арабских Эмиратов.

Инженеры в Объединенных Арабских Эмиратах входят в структуру SOE под патронажем его Высочества Шейха Мухаммеда Бен Рашида Аль-Мактума. SOE стала членом ITA в 2011 г., и с тех пор взаимоотношения между странами становятся все более активными. Это первый раз, когда WTC происходит на Ближнем Востоке. Задача конгресса –

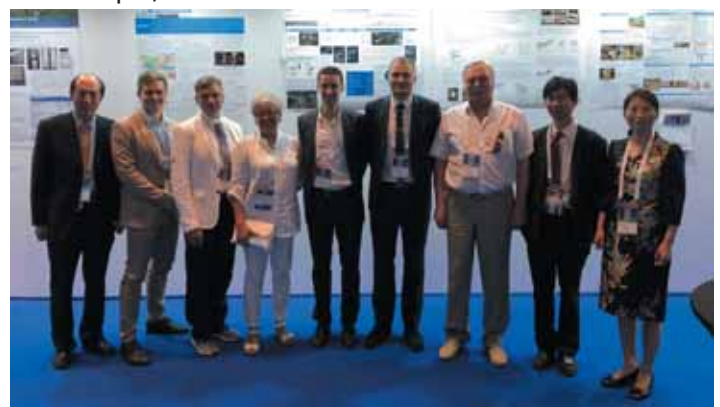
объединение и обмен опытом между странами и организациями, специализирующимся на проектировании и строительстве подземных сооружений. Об успехе и несомненном интересе к конгрессу можно судить по таким цифрам. Поступило 627 тезисов и принято 353 рукописи для устных или стендовых докладов. Для стендовых докладов организато-

рами была выделена дополнительная площадь, чтобы соответствовать высокому спросу со стороны экспонентов. Темой Открытого заседания в этом году стала «контрактная практика на XXI век», поставленная рабочей группой ITA до начала проведения конгресса. Делегация Тоннельной ассоциации России (рис. 1 и 2) включала семь человек.

Рис. 1. На церемонии открытия: М. Ю. Бельский (ОАО «Мосметрострой»), Н. А. Волков (ОАО «Метрострой»), Р. И. Ларионов, И. Б. Василевская, В. А. Марков, М. О. Лебедев (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»)



Рис. 2. На стендовых докладах: Zhao Wen (директор института по геотехнике и подземному строительству, Китай), Р. И. Ларионов, М. О. Лебедев, И. Б. Василевская (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»), Н. А. Волков, А. В. Калюжный (ОАО «Метрострой»), В. А. Марков (ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»), крайние справа – представители института по геотехнике и подземному строительству, а также журнала Journal of Tunnel Construction. China Railway Tunnel Group Co, Китай



Программа тоннельного конгресса включала в себя учебные курсы по тоннелестроению, стендовые презентации, Генеральную Ассамблею, устные доклады при работе технических сессий, технические туры по текущим тоннельным проектам в ОАЭ и оживленную выставку с компаниями со всего мира, представляющими свои последние тоннельные решения, инновации и технологии.

На выставке участвовали такие известные компании как Herrenknecht, BASF, BROKK, DMT, HILTI, JAPAN TUNNELING ASSOCIATION, Komatsu, Liebherr, MAPEI, Normet, Norwegian Tunneling Society, Robbins, CHINA Communi-

cations Construction Company Ltd, занимающая шесть стандартных площадок, и многие другие производственные, строительные фирмы и корпорации. Некоторые из них представили передовые достижения в области горнопроходческого оборудования, выставив свои образцы и модели. Большим блоком на выставке выступили производители строительных материалов: различные добавки в бетон, композитные материалы (в том числе много производителей арматуры из полимерных материалов, готовых пространственных каркасов и элементов для стыковки такой арматуры), фибры и прочих материалов. Большая часть представ-

ленных материалов имеют эффективное внедрение в практику тоннелестроения.

На конференции, состоявшейся в рамках конгресса, на стендовых докладах приняли участие ОАО «Метрострой» и ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» (рис. 2).

В устных докладах, распределенных по 16 техническим сессиям (табл. 1), были показаны последние инновации, тенденции и достижения во всех областях тоннелестроения, от разработки проектов тоннелей до строительства тоннелей и обеспечения безопасности при строительстве и эксплуатации.

Таблица 1

Тематика технических сессий

Номер технической сессии/Наименование	Обсуждаемые темы
1 Проекты в странах Ближнего Востока и Северной Африки	Эта сессия дает большое представление о крупных проектах в основном в регионе Ближнего Востока и Северной Африки, а также за рубежом. В частности презентации проектов ряда тоннелей в ОАЭ и крупные проекты Дубая.
2 Прогресс в области материалов	Материалы для проходки тоннелей, как правило, проходят регулярные лабораторные исследования с целью лучшего понимания механизма их работы, повышения их эффективности и преимуществ, простоты использования и разработки новых товаров. Для использования фибры в качестве армирования в элементах обделки сборных железобетонных тоннелей приведены результаты полномасштабных испытаний для определения преимуществ использования фиброволокна. Аналитические и экспериментальные результаты подтверждают эффективность конструкции бетона армированного фиброволокнами. Использование химических веществ для кондиционирования грунта при проходке с помощью ТПМК. Представлены также интересные разработки в области использования нанотехнологий для армирования торкретбетона и производства сырья для бетона из тоннельного балласта.
3 Безопасность при проектировании и строительстве	Данная сессия представляет серию работ, связанных с безопасностью при проектировании и строительстве сложных подземных сооружений. Документы охватывают широкий круг вопросов, от здоровья и безопасности рабочих, до проектирования конструкций для сейсмических событий и инновационных подходов к управлению рисками и безопасностью на этапе эксплуатации тоннеля.
4 Тематические исследования работы ТПМК	Эта сессия охватывает несколько основных аспектов и горячих тем, связанных с современным состоянием работы ТПМК. К ним относятся: горные удары, выдавливание грунта, твердых и абразивных трещиноватых скальных пород, и высокое гидростатическое давление, корреляция между расчетными и фактическими технологическими параметрами ТПМК, влияние природного поля напряжений в массиве на управляемость ТПМК, вероятностные методы прогнозирования механических и гидравлических свойств горных пород.
5 «Умные города и устойчивость»	Сессия посвящена городскому подземному пространству в соответствии с основной темой конгресса: как подземные пространства могут позволить городам развиваться устойчиво и стать устойчивыми? Рассмотрены актуальные вопросы, связанные с городским развитием, и как подземное пространство может внести в это свой вклад. Рассмотрены новые технологии, исследования и методологии, которые могут привести к новым решениям.
6 Контрактные риски	Сессия контрактные риски рассматривает роль анализа рисков в процессах принятия решений в явно различающихся технических и административных контекстах. Результаты иногда могут быть неожиданными – от обоснования сноса здания, представляющего историческую ценность, до того, как деятельность написана и оценена с точки зрения страхования. Решаете Вы – является ли анализ риска инструментом, чтобы помочь лицам, принимающим решения, инструментом, чтобы оправдать уже принятые решения или просто удобный подход, чтобы избежать принятия собственных решений?
7 Ремонт и техническое обслуживание	Рассмотрены доклады на темы: - Исследование причин деформации тоннеля в Японии; - Численное моделирование при реконструкции тоннелей в Иране; - Термический анализ термографии для выявления дефектов тоннеля; - Историческая точка зрения на применение упругих материалов при проходке тоннелей в Японии; - Методы оценки притока воды в Нидерландах; - Гидроизоляция тоннеля при помощи акрилатных растворов в Австралии; - Реконструкция тоннеля во Франции и др.
8 Инновационные технологии - 1	Внимание фокусируется на инновациях, внедряемых в мировой индустрии тоннелестроения. Доклады на этой сессии показывают как инженеры разрабатывают инновационные подходы к решению конкретных проблем для строительства надежных тоннелей. Рассмотрены проблемы выбора и принятия технических решений при строительстве, долговечности службы построенных объектов.

Продолжение таблицы 1

Номер технической сессии/Наименование	Обсуждаемые темы
9 Опыт применения ТПМК	Область применения ТПМК в тоннельном строительстве неуклонно растет. Проекты, в которых механизированная проходка на полное сечение не так давно была оценена слишком рискованной и не сохраняющая существующих сооружений на поверхности, сегодня является наиболее эффективной технологией. Регионы мира, где до сих пор доминировали традиционные технологии проходки, сегодня все интенсивнее используют ТПМК. Это результат постоянного сотрудничества всех партнеров по проектам и их совместной работы. На этой сессии рассмотрены доклады с конкретными требованиями к технологическим параметрам ТПМК при их использовании в разных регионах и конкретных инженерно-геологических условиях.
10 Планирование и проектирование-1	Эта сессия представляет интересный перечень последних проектов и методов проектирования, разработанных для больших камер, тоннелей, шахт в скале и мягком грунте. Рассмотрены новые решения анкерного крепления, набрызг-бетонных конструкций, выполнен анализ оснований тоннеля для восприятия нагрузки от ТПМК. Проекты включают программы борьбы с наводнениями, сооружения больших автодорожных тоннелей в слабом грунте, вариант строительства железнодорожного тоннеля, примыкающего к ранее построенным тоннелям, камеры электростанции и архитектурный подход к отделке тоннелей метро.
11 Методы строительства-1	Рассмотрены примеры строительства с повышенными требованиями к проектному сроку службы, сейсмостойчивости и ограничению воздействия на окружающую инфраструктуру. В рассмотренных технологиях также присутствуют инновации в строительстве шахт и организации земляных работ, используемых в проектах по всему миру.
12 Инновационные технологии-2	Строительство тоннелей – это технический бизнес, имеющий риск. Сегодня мы проходим тоннели значительно иначе, чем десять лет назад и т. д. Инновации в подходе, технологии и знаниях делают это возможным. Обмен инновационными успехами и извлеченными уроками является отличительной чертой нашей отрасли, поскольку она продвигает тоннелестроение вперед и улучшает создание подземного пространства на благо общества. Центральной темой этой сессии является обмен инновациями и знаниями, которые могут быть применены к соответствующим проектам в будущем.
13 Методы строительства-2	Вторая сессия методов строительства продолжает представлять инновационные инженерные решения, на этот раз с акцентом на тоннелестроение ТПМК и погружными секциями. Опять же, презентации достижений по многим глобальным проектам по всему миру дают нам представление о современных методах тоннелестроения, извлеченных уроках и ценном опыте.
14 Риски строительства	Мы сталкиваемся со строительными рисками в нашей работе почти каждый день. Некоторые из них непредсказуемы, некоторые вызывают огромные финансовые затраты. Некоторые риски могут быть оценены и минимизированы. Спектр таких строительных рисков широк. Данная Техническая сессия предоставляет широкий спектр различных реальных строительных рисков, оценку технических и коммерческих воздействий, а также меры по снижению возникновения таких дорогостоящих инцидентов.
15 Пожарная безопасность	Презентации рассматривают: - проблемы пожарной безопасности крупных проектов, включая развитие острова Bluewater в Дубаи или Crossrail в Великобритании; - проектирование вентиляции тоннелей, а также исследования систем автоматического мониторинга в двухэтажных тоннелях и эффективности струйного пожаротушения.
16 Планирование и проектирование-2	В тоннелестроении требуется глубокий геомеханический анализ и геотехнологий. Представляя собственный опыт и извлеченные уроки, специалисты поделились различными подходами и опытом из реализованных проектов по всему миру.

Активность стран, инженеры которых представили презентации и полные тексты докладов, представлена в табл. 2.

Общее количество полных текстов докладов, вошедших в сборник конгресса, составило 267.

Общее количество полных текстов докладов, вошедших в сборник конгресса, составило 267.

Таблица 2

Количество текстовых докладов (презентаций) по странам, вошедших в сборник

№ п/п	Страна	Кол-во	№ п/п	Страна	Кол-во	№ п/п	Страна	Кол-во
1	Венгрия	1	13	Египет	3	25	Индия	7
2	Колумбия	1	14	Канада	3	26	Швейцария	7
3	Непал	1	15	Греция	4	27	Иран	8
4	Сингапур	1	16	Россия	4	28	Турция	8
5	Словакия	1	17	Швеция	4	29	США	9
6	Словения	1	18	Австрия	5	30	Франция	9
7	Чехия	1	19	Мексика	5	31	Великобритания	15
8	Доха, Катар	2	20	Австралия	6	32	Корея	19
9	Новая Зеландия	2	21	Бразилия	6	33	Германия	20
10	ОАЭ	2	22	Испания	6	34	Италия	24
11	Таиланд	2	23	Нидерланды	6	35	Япония	25
12	Бельгия	3	24	Норвегия	6	36	Китай	40

Что в первую очередь интересует инженера-тоннельщика? Это наличие работы – наличие спроектированных и переданных заказчиком к реализации объектов строительства. Если такой обзор делать по России, то за последние три года велось строительство только одного транспортного тоннеля – Байкальского железнодорожного тоннеля длиной 6680 м. Окончание проходки тоннеля было выполнено в марте 2018 г. Осуществлялось также строительство железнодорожного тоннеля длиной около 1 км, входящего в систему транспортного железнодорожного перехода в Крым, но после серьезной аварийной ситуации в апреле 2018 г. – потери устойчивости временной крепи, произошедшей при разработке горным способом штроссовой части тоннеля, строительство тоннеля было остановлено для реализации специальных способов по стабилизации грунтов вмещающего массива.

При всей значимости Международного тоннельного конгресса, накопленного богатейшего опыта в строительстве подземных сооружений, мировой рынок тоннельного строительства тоже испытывает дефицит в объектах подземного строительства. За последние два-три года кроме пуска Готтардского базисного тоннеля в Альпах и открытия 13 июня 2018 г. автодорожного тоннеля длиной 14,7 км через гору Овип в Турции, не было начато строительство ни одного длинного, а тем более сверхдлинного транспортного тоннеля. Средняя длина строящихся транспортных тоннелей (за исключением

линий метрополитенов и гидротехнических транспортных тоннелей) составляет около 3000 м. Причем это единичные проекты развитых стран, таких как Франция, Германия, Австрия, Норвегия, Италия, США, Великобритания. Инженеры-тоннельщики этих стран все чаще находят себе работу в Восточной Европе, Индии, Ближнем востоке и Северной Африке.

Конечно же, предпроектные проработки строительства длинных и сверхдлинных тоннелей в мире существуют. Например, строительство железнодорожного тоннеля между Австрией и Италией длиной 64 км (два параллельных однопутных тоннеля с сервисной штольней между ними). Или строительство обновленной версии большого адронного коллайдера с длиной тоннелей около 140 км, часть трассы которого пройдет под Женевским озером (с ориентировочным сроком окончания строительства в 2026 г.). Но, пожалуй, самым амбициозным решением является строительство тоннеля между Хельсинки и Таллинном под Балтийским морем, длиной более 80 км. Скорей всего этот проект навсегда останется только на бумаге, поскольку большинство экспертов считает, что строительство этого тоннеля неразумно, по предварительным расчетам срок окупаемости не менее 37 лет. ЕС вряд ли возьмется финансировать данный проект, строительство которого оценено в 9–13 млрд евро.

В отличие от транспортных тоннелей, в мире идет активное строительство метрополитенов. В Милане до 2022 г. планируется

построить 23 новые станции метрополитена и 16 км тоннелей. Здесь нетрудно увидеть, что в Милане расстояние между станциями является незначительным и составляет менее 1 км. В Стамбуле существующая длина линий метро составляет 145 км, а ожидаемое увеличение их длины уже к 2019 г. составит до 480 км, и до 1000 км в дальнейшем. В 2018 г. в Стамбуле прогнозируется работа более 50 ТПМК с активным пригрузом забоя. Используются щиты фирм Herrenknecht, Lovat и Terratec TBMs. В Южной Америке, в городе Сантьяго объявлено об увеличении линий метрополитена со 117,5 км существующих до 215 км к 2026 г. Активное строительство метрополитенов происходит в Индии.

Пересчитать количество строящихся и планируемых транспортных тоннелей в мире нетрудно, чего не скажешь о Китае.

По состоянию на конец 2017 г. эксплуатационная протяженность рельсового пути в Китае достигла 127 000 км. Введено в эксплуатацию приблизительно 14 547 тоннелей общей протяженностью 15 326 км. В 2017 г. было введено в эксплуатацию 465 железнодорожных тоннелей общей протяженностью 1 206 км, среди которых: 26 сверхдлинных тоннелей общей протяженностью 368 км и 6 тоннелей (табл. 3) с единичной длиной тоннеля более 15 км (сверхдлинный тоннель означает тоннель длиной более 10 км). В стадии строительства 3 825 тоннелей общей протяженностью 8 255 км. Запланировано 5 596 тоннелей общей протяженностью 13 331 км.

Таблица 3

Сверхдлинные железнодорожные тоннели, введенные в эксплуатацию в Китае в 2017 г., с длиной тоннеля более 15 км

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух-трубная	Дата завершения проходки	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ
Тоннель западного Циньлина	28 236	Железная дорога Ланьчжоу-Чунцин	Однотрубная двухпутная линия	дек. 2015 г.	200	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Ферст Сервей энд Дизайн Инститьют Груп Ко., Лтд.)	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Таннэл Груп Ко. Лтд.) и China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй 18 Бюро Груп Ко. Лтд.)
Тоннель Мучжайлин	19 095	Железная дорога Ланьчжоу-Чунцин	Однотрубная двухпутная линия	июль 2017 г.	200	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.
Тоннель Хадапу	16 590	Железная дорога Ланьчжоу-Чунцин	Однотрубная двухпутная линия	март 2016 г.	200	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway Seventh Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Севенс Груп Ко. Лтд.)
Тоннель Хэйшань	15 757	Железная дорога Ланьчжоу-Чунцин	Однотрубная двухпутная линия	авг. 2017 г.	200	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 19 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Циньлин Тяньхуашан	15 988,6	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	июль 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Seventh Group Co., Ltd., и China Railway 12 Group Co., Ltd.
Тоннель Лаоаньшань	15 161	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	сент. 2015 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 12 Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй 12 Груп Ко. Лтд.)

По состоянию на конец 2017 г. действующий километраж высокоскоростных железных дорог в Китае достиг 25 000 км. Было построено приблизительно 2 835 тоннелей общей протяженностью 4 537 км, среди которых

60 сверхдлинных тоннелей общей протяженностью 775 км и 5 тоннелей с единичной длиной тоннеля более 15 км, как показано в табл. 4. В 2017 г. введено в эксплуатацию 6 высокоскоростных железнодорожных линий общей

протяженностью 1 206 км; 198 тоннелей общей протяженностью 604 км, среди которых 16 сверхдлинных тоннелей с единичной длиной тоннеля более 10 км и общей длиной 210 км, как показано в табл. 5.

Таблица 4

Эксплуатация сверхдлинных высокоскоростных железнодорожных тоннелей с единичной длиной тоннеля более 15 км

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух- трубная	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ	Дата заверше- ния
Тоннель Тайханшань	27 839	Линия Шицзячжуан-Тайюань, предназначенная для пассажиров	Двухтрубная однопутная линия	250	China Railway Design Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Дизайн Груп Ко. Лтд.),	China Railway Tunnel Group Co., Ltd., China Railway No. 5 Engineering Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй № 5 Инжиниринг Груп Ко. Лтд.), China Railway 11 Group Co., Ltd., China Railway 16th Group Co., Ltd. and China Railway 17th Group Co., Ltd.	дек. 2007 г.
Тоннель Шилин	18 208	Железная дорога Юаньнань-Гуйян	Однотрубная двухпутная линия	200 (250 зарезерви- ровано)	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Эрьян Инжиниринг Груп Ко. Лтд.),	China Railway First Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Ферст Груп Ко. Лтд.)	дек. 2013 г.
Тоннель Циньлин Тяньхуашань	15 988,6	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 17th Group Co., Ltd. и China Railway 12 Group Co., Ltd.	июль 2016 г.
Тоннель Дабаншань	15 897	Линия Ланьчжоу-Синьцзян, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	350	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.	дек. 2014 г.
Тоннель Лаоаньшань	15 161	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 12 Group Co., Ltd.	сент. 2015 г.

Таблица 5

Введенные в эксплуатацию в 2017 г. сверхдлинные высокоскоростные железнодорожные тоннели

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух- трубная	Дата завершения проходки	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ
Тоннель Биджиашань	14 751	Линия Баоцзи-Ланьчжоу, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	апр. 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway No. 10 Engineering Group Co., Ltd. и China Railway Major Bridge Engineering Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Мэйджор Бридж Инжиниринг Груп Ко. Лтд.),
Тоннель Майцзишань	13 947	Линия Баоцзи-Ланьчжоу, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	июнь 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Major Bridge Engineering Group Co., Ltd.
Тоннель Уцзяча	10 456	Линия Баоцзи-Ланьчжоу, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	сент. 2015 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway No. 2 Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй № 2 Груп Ко. Лтд.)
Тоннель Гучэнлин	10 350	Линия Баоцзи-Ланьчжоу, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	дек. 2015 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.
Тоннель Вэйхэ	10 016	Линия Баоцзи-Ланьчжоу, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	дек. 2015 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 12 Group Co., Ltd.
Тоннель Чжужцзяшань	14 950	Линия Баоцзи-Ланьчжоу, предназначенная для пассажиров	Двухтрубная однопутная линия	авг. 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 19 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Циньлин Тяньхуа	15 988,6	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажиров	Однотрубная двухпутная линия	июль 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 17th Group Co., Ltd. и China Railway 12 Group Co., Ltd.

Продолжение таблицы 5

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух- трубная	Дата завершения проходки	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ
Тоннель Лаоаньшань	15 161	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Однотрубная двухпутная линия	сент. 2015 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 12 Group Co., Ltd.
Тоннель большого Циньлина	14 846	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Однотрубная двухпутная линия	сент. 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	CCCC Second Harbour Engineering Company Ltd. (СиСиСи Секонд Харбор Инжиниринг Компани ЛТд.) и China Railway 17 Group Co., Ltd.
Тоннель Дели	14 167	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Однотрубная двухпутная линия	январь. 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 12 Group Co., Ltd. и SinoHydro Bureau 14 Co., Ltd. (СайноГидро Бюро 14 Ко., ЛТд.)
Тоннель Фужэньшань	13 102	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Однотрубная двухпутная линия	апр. 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	SinoHydro Bureau 14 Co., Ltd.
Тоннель Цинляньшань	12 553	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Однотрубная двухпутная линия	май 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	CCCC Second Harbour Engineering Company Ltd.
Тоннель Хэцзялян	12 406	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Однотрубная двухпутная линия	апр. 2016 г.	250	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.
Тоннель Сяоань	13 430	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Двухтрубная однопутная линия	окт. 2016 г.	250	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Эрьян Инжиниринг Груп Ко. ЛТд.),	China Railway 19 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Хуанцзялян	11 618,947	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Двухтрубная однопутная линия	фев. 2016 г.	250	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Эрьян Инжиниринг Груп Ко. ЛТд.),	China Railway No. 5 Engineering Group Co., Ltd.,
Тоннель Цзяньцзянь	12 029	Линия Сиань-Чэнду, предназначенная для пассажилов	Двухтрубная однопутная линия	январь. 2016 г.	250	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway No. 5 Engineering Group Co., Ltd.,

В стадии строительства находится 40 высокоскоростных железнодорожных линий общей протяженностью 9 956 км; 1 456 тоннелей общей протяженностью 3 057 км, среди которых 54 сверхдлинных тоннеля общей протяженностью 683 км и 8 тоннелей с единичной длиной тоннеля более 15 км, как показано в табл. 6.

В Китае эксплуатируется 920 высокоско-

ростных железнодорожных тоннелей общей протяженностью 2 179 км с проектной скоростью 300–350 км/ч, а со скоростью 250 км/ч – 536 тоннелей общей протяженностью 878 км.

Запланировано 72 высокоскоростные железнодорожные линии общей протяженностью 15 051 км; 2 687 тоннелей общей протяженностью 5 482 км, среди которых

83 сверхдлинных тоннеля общей протяженностью 1 128 км и 17 тоннелей с единичной длиной тоннеля более 15 км, как показано в табл. 7. 1 720 высокоскоростных железнодорожных тоннелей общей протяженностью 3 654 км с проектной скоростью 300–350 км/ч и 967 тоннелей общей протяженностью 1 828 км с проектной скоростью 250 км/ч.

Таблица 6

Сверхдлинные высокоскоростные железнодорожные тоннели в стадии строительства

Название	Длина, м	Линия	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ	Примечание
Тоннель с тремя мини-ущельями	18 954	Высокоскоростная железная дорога Чжэнчжоу-Ваньчжоу	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Синьхуа	18 770	Высокоскоростная железная дорога Чжэнчжоу-Ваньчжоу	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway First Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Дунмин	18 226	Железная дорога Ханчжоу-Шаосин- Тайчжоу	350	China Railway Design Group Co., Ltd.	China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Цзюван Дашань № 1	17 012	Высокоскоростная железная дорога Гуйян-Наньнин	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия

Продолжение таблицы 6

Название	Длина, м	Линия	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ	Примечание
Тоннель Ушань	16 570,5	Высокоскоростная железная дорога Чжэнчжоу-Ваньчжоу	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Цзюван Дашань № 4	15 485	Высокоскоростная железная дорога Гуйян-Наньнин	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Сянлупин	15 154	Высокоскоростная железная дорога Чжэнчжоу-Ваньчжоу	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Ду-ань	15 152	Высокоскоростная железная дорога Гуйян-Наньнин	350	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway 11 Bureau Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия

Таблица 7

Запланированные сверхдлинные высокоскоростные железнодорожные тоннели длиной более 15 км

Название	Длина, м	Линия	Проектная скорость, км/ч	Фаза	Проектировщик	Примечание
Тоннель Ушаолин	17 205	Третья и четвертая линия Ланьчжоу-Чжанцзяцзе	250	Технико-экономическое обоснование	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	Двухтрубная
Тоннель Циньлин Мабайшань	22 962	Недавно построенная линия Сиань-Шиянь	350	Технико-экономическое обоснование	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель западного Циньлина	18 016	Недавно построенная линия Сиань-Шиянь	350	Технико-экономическое обоснование	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Циньлин Тайсиншань	18 819	Недавно построенная линия Сиань-Анькан	350	Технико-экономическое обоснование	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Циньлин Цзютяньшань	22 294	Недавно построенная линия Сиань-Анькан	350	Технико-экономическое обоснование	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Яньань	23 041	Недавно построенная линия Сиань-Яньань	350	Технико-экономическое обоснование	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Тайпиншань	16 805	Высокоскоростная железная дорога Шанхай-Цзуньи	250 (350 зарезервировано)	Дополнительное технико-экономическое обоснование	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Илян	22 922	Высокоскоростная железная дорога Чунцин-Куньмин	350	Предварительный проект	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Чжаотун	16 330	Высокоскоростная железная дорога Чунцин-Куньмин	350	Предварительный проект	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Баюнь	16 860	Высокоскоростная железная дорога Чунцин-Куньмин	350	Предварительный проект	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия

Продолжение таблицы 7

Название	Длина, м	Линия	Проектная скорость, км/ч	Фаза	Проектировщик	Примечание
Тоннель Цюйцзин	16 030	Высокоскоростная железная дорога Чунцин-Куньмин	350	Предварительный проект	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Сюэбаошань	16 920	Линия Чунцин-Сиань	350	Дополнительное технико-экономическое обоснование	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Иньшань	19 620	Линия Пекин-Тайюань, предназначенная для пассажиров	350	Дополнительное технико-экономическое обоснование	China Railway Design Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель к аэропорту	16 625	Железная дорога Шэньчжэнь- Маомин	250	Технико-экономическое обоснование	China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd. (Чайна Рэилуэй Сайюань энд Дизайн Груп Ко., Лтд.)	Однотрубная двухпутная/Двухтрубная однопутная
Тоннель Шичжун	19 446	Железная дорога Цяньцзян-Ваньчжоу	350	Дополнительное технико-экономическое обоснование	China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Шичжу	18 330	Железная дорога Цяньцзян-Ваньчжоу	350	Дополнительное технико-экономическое обоснование	China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd.	Однотрубная двухпутная линия
Тоннель Сяншань	17 763	Железная дорога аэропорта Ланьчжоу-Чжунчуань	250	Строительный чертёж	China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd. (Чайна Рэилуэй Фифс Сервей энд Дизайн Инститьют Груп Ко., Лтд.)	Однотрубная двухпутная линия

По состоянию на конец 2017 г. действующие стигли количества 132 общей протяженностью начной длиной тоннеля более 20 км и общей сверхдлинны железнодородные тоннели до- 1 812 км, среди которых было 9 тоннелей с ед- 1 812 км, среди которых было 9 тоннелей с ед- протяженностью 219 км, как показано в табл. 8.

Таблица 8

Сверхдлинные железнодородные тоннели в эксплуатации длиной более 20 км

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух-трубная	Дата завершения	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ
Тоннель Гуаньцзяо	32 690	Вторая линия Синин-Голмуд	Двухтрубная однопутная линия	дек. 2014 г.	160	China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway 16 Group Co., Ltd.
Тоннель Чжунтянь-шань	22 449	Линия южного Синьцзян	Двухтрубная однопутная линия	дек. 2014 г.	160	China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Ушаолин	20 050	Вторая линия Ланьчжоу-Ухань	Двухтрубная однопутная линия	март 2006 г.	160	China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd., China Railway First Group Co., Ltd., China Railway No. 2 Group Co., Ltd., China Railway No. 5 Engineering Group Co., Ltd., China Railway 12 Group Co., Ltd., China Railway 16 Group Co., Ltd., China Railway 17 Group Co., Ltd. и China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель западного Циньлина	28 236	Линия Ланьчжоу-Чунцин	Двухтрубная однопутная линия	дек. 2016 г.	200	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Тайханшань	27 839	Линия Шицзячжуан-Тайюань, предназначенная для пассажиров	Двухтрубная однопутная линия	дек. 2007 г.	250	China Railway Design Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd., China Railway 12 Group Co., Ltd., China Railway 16 Group Co., Ltd., China Railway 17 Group Co., Ltd., China Railway No. 5 Engineering Group Co., Ltd.

Продолжение таблицы 8

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух-трубная	Дата завершения	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ
Тоннель Люйляншань	20 785	Железная дорога Тайюань-Чжунвэй-Иньчуань	Двухтрубная однопутная линия	окт. 2009 г.	160 (200 зарезервировано)	China Railway Design Group Co., Ltd.	China Railway NO. 3 Engineering Group Co., Ltd. и China Railway 12 Group Co., Ltd.
Тоннель Яньшань	21 153	Железная дорога Чжанцзяцзе-Таншань	Двухтрубная однопутная линия	сент. 2014 г.	120	China Railway Design Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.
Тоннель Цинюньшань	22 175	Железная дорога Сянтан-Путянь	Двухтрубная однопутная линия	сент. 2011 г.	200	China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd.	China Railway 23 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель южный Люйляншань	23 443	Железная дорога Ватан-Жичжао	Двухтрубная однопутная линия	апр. 2013 г.	120	China Railway Tunnel and Design Institute Co., Ltd. (Чайна Рэйлуэй Таннэл энд Дизайн Инститьют Ко.Лтд.)	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway 11 Bureau Group Co., Ltd.

В 2017 г. были введены в эксплуатацию 26 тоннелей общей протяженностью 368 км, из которых 1 тоннель длиной более 20 км, а именно тоннель западный Циньлин на желез-

ной дороге Ланьчжоу-Чунцин (длина 28,2 км).

В настоящее время строится 156 сверхдлинных тоннелей общей протяженностью 2 115 км, из которых 6 тоннелей длиной бо-

лее 20 км и общей протяженностью 151 км, как показано в табл. 9.

Приведенные выше данные не включают данные в Гонконге, Макао и Тайване.

Таблица 9

Сверхдлинные железнодорожные тоннели длиной более 20 км в стадии строительства

Название	Длина, м	Линия	Одно/двух-трубная	Дата начала	Проектная скорость, км/ч	Проектировщик	Подрядчик строительных работ
Тоннель Данциньшань	20 100	Железная дорога Дуньхуан-Голмуд	Однотрубная однопутная линия	апр. 2013 г.	120	China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd.	China Railway 17 Group Co., Ltd., China Railway 19 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Гаоли Гуншань	34 538	Железная дорога Дали-Жуйли	Однотрубная однопутная линия	дек. 2014 г.	140	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway 18 Bureau Group Co., Ltd.
Тоннель Сяосянлин	21 775	Секция Эми на второй линии Чэнду-Куньмин	Однотрубная однопутная линия	2015 г.	160	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd.
Тоннель Юньтуньбао	22 923	Железная дорога Чэнду-Ланьчжоу	Однотрубная однопутная линия	март 2014 г.	200	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway No. 2 Group Co., Ltd. и China Railway 16 Group Co., Ltd.
Тоннель Пинань	28 426	Железная дорога Чэнду-Ланьчжоу	Двухтрубная однопутная линия	март 2013 г.	200	China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd.	China Railway Tunnel Group Co., Ltd. и China Railway NO. 3 Engineering Group Co., Ltd.
Тоннель Сяошань	22 751	Секция Саньцзин на железной дороге Менхуа	Двухтрубная однопутная линия	май 2015 г.	120	China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd.	China Railway 16 Group Co., Ltd.



Рис. 3. Автоматизированный мониторинг напряженно-деформированного состояния строительных конструкций с постоянным оповещением о безопасности при помощи световых индикаторов (светодиодов): а – при разработке котлованов; б – при проходке тоннелей

Запланировано 270 сверхдлинных тоннелей общей протяженностью 3 834 км, среди которых 19 тоннелей с длиной тоннеля более 20 км и общей протяженностью 465 км.

По состоянию на конец 2017 г. эксплуатационная протяженность автомобильных дорог Китая достигла 4,773 5 млн км, что на 78 200 км превышает протяженность на конец 2016 г. Эксплуатационная протяженность автомагистралей достигла 1,365×10⁵ км, что на 6 500 км превышает протяженность на конец 2016 г. Протяженность национальной автомагистралей достигла 1,023×10⁵ км, что на 3 900 км превышает протяженность на конец 2016 г.

На конец 2017 г. в эксплуатации находится 16 229 автомобильных тоннелей национального масштаба общей протяженностью 15,285 1 млн м, что на 1048 больше и на 1,245 4 млн м длиннее, чем на конец 2016 г. Было 902 сверхдлинных (длиной более 3 км) автомобильных тоннелей общей протяженностью 4,013 2 млн м и 3 841 длинных (длиной от 1 до 3 км) автомобильных тоннелей общей протяженностью 6,599 3 млн м. Инвестиции в автомобильные дороги в 2017 г. достигли 2 125 333 млрд юаней (340 053,28 млрд \$), что на 18,2 % больше, чем в 2016 г. Между тем, инвестиции в автомобильные тоннели в 2017 г. достигли 925,786 млрд юаней (148,125 млрд \$), что на 12,4 % больше, чем в 2016 г.

На тоннельном конгрессе были приведены цифры, что мировой годовой рынок строительства тоннелей и подземных сооружений растет и составляет более 100 млрд \$. Сопоставляя с инвестициями Китая¹, которые только для автомобильных тоннелей превышают инвестиции по всему миру, можно без ошибки ответить на

вопрос – кто является мировым лидером в объемах тоннелестроения?

Важный раздел, который рассматривался в рамках тоннельного конгресса на многих секциях, был связан с обеспечением безопасности при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. И здесь можно сказать, что вопросы оценки рисков и мероприятий, направленных на повышение безопасности при строительстве уже по умолчанию выполняются для каждого проектируемого и строящегося тоннеля. Так называемый геотехнический мониторинг является неотъемлемой частью технологического процесса строительства. В общем виде геотехнический мониторинг решает следующие задачи:

- контроль гидростатического (порового) давления;
- контроль напряженно-деформированного состояния строительных конструкций (обделки);
- контроль качества закрепления грунтов геофизическими методами;
- контроль глубинных деформаций грунтового массива над тоннелем при помощи экстензометров и инклинометров;
- визуальный и инструментальный мониторинг зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строительства;
- геодезический мониторинг деформаций поверхности.

Такой комплекс работ обязательно выполняется при строительстве тоннелей в условиях существующей застройки.

Если спроецировать данный вопрос на строительство метрополитена в Москве, то можно увидеть ущербность геотехнического мониторинга, который в составе проектной документации представляет собой только программу наблюдений за

деформациями поверхности. А это наличие информации только о финальной стадии негативного влияния на окружающую среду, когда принимать меры уже поздно. Можно на это закрывать глаза, но большое количество «нештатных» ситуаций при строительстве Московского метрополитена свидетельствуют об отсутствии своевременной информации, которая могла бы позволить принять своевременные меры по стабилизации ситуации, исключить последующие колоссальные затраты на восстановительные работы, сохранить строительную технику, соблюсти директивные сроки строительства и, что немаловажно, не сломать человеческие судьбы.

Одним из лидеров в системах мониторинга является Япония. При всей известности систем автоматизированного мониторинга напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, в Японии они получили дальнейшее развитие. Непосредственно в тоннелях устраиваются световые индикаторы, позволяющие в режиме светофора судить о текущем состоянии строительных конструкций (рис. 3).

Обмен накопленным опытом, который происходит на Международном тоннельном конгрессе, позволяет с меньшими материальными и временными затратами принимать оптимальные решения, исключать из рассмотрения заведомо провальные технические решения.

Следующий Международный тоннельный конгресс пройдет в мае 2019 г. в Турине (Италия), где обязательно будут рассмотрены результаты строительства и проектирования новых подземных сооружений на всех континентах.

¹Вся информация по строительству тоннелей в Китае взята из журнала Journal of Tunnel Construction. China Railway Tunnel Group Co. April, 2018.

МИНСКИЙ МЕТРОПОЛИТЕН: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА

В. В. Чеканов, ОАО «Минскметропроект»

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

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

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

Для строительства метрополитена были созданы:

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

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

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

Высокий уровень грунтовых вод, на контакте песков и супесей находится верховодка, а также россыпи валунов диаметром от 300 до 500 мм, встречаются валуны больше 1 м.

План и профиль трассы определялись городской застройкой, инженерно-геологическими условиями и рельефом местности, а

также существующими и перспективными подземными сооружениями.

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

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



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

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

При строительстве станции «Немига» на первом участке второй линии в котловане станции были вскрыты деревянные конструкции древнего города – Минское замчище XI века. Археологами института истории Академии Наук БССР два года велись раскопки в котловане станции (рис. 2). В результате раскопок были обнаружены фрагменты

Рис. 2. Ведение раскопок в котловане станции «Немига»





Рис. 3. Фрагменты изделий, обнаруженных в результате раскопок в котловане станции «Немига»

крепостной стены, городская мостовая из деревянных конструкций, остатки моста через реку Немига и др. (рис. 3).

После окончания раскопок было принято решение снова засыпать их песком, чтобы сохранить для потомков, так как на то время не было найдено приемлемого технического решения для консервации деревянных конструкций.

Преодоление реки Свислочь представляло собой непростую инженерную задачу, так как тоннель проходил на небольшой глубине под руслом реки в водоносных грунтах. Для решения этой задачи предлагались различные варианты, такие как замораживание грунтов, проходка тоннеля под кессоном, строительство временного обводного пути для отвода реки. В результате было принято одновременно простое и экономичное решение: в месте проходки тоннеля строители отсыпали грунтовую дамбу, а для пропуска воды уложили в теле дамбы стальные трубы диаметром 1 м, что позволило пропустить воду. А учитывая, что в реке Свислочь есть техническая возможность регулировать расход воды, то на период проходки его уменьшили до возможного минимума – 10 м³/с.

Иногда на пути проходческого щита возникали препятствия в виде валунов или старых железобетонных конструкций, оставшихся еще от довоенных построек. В этих случаях проблемы решались при помощи отбойных молотков или взрывчатки.

Еще одна сложность была вызвана близким расположением котлованов строящегося метрополитена к памятникам архитектуры и исторически значимым зданиям. В частности, первая линия метрополитена проходит по главному проспекту, который в целом был признан международной организацией ЮНЕСКО памятником архитектуры. Также требовал повышенного внимания участок с близким расположением метро к Кафедральному собору в

стиле Виленского барокко, история которого начинается в 1633–1642 гг. Соседство строительной площадки с таким зданием (рис. 4) накладывает определенную ответственность на рабочих и требует сложных технических решений от инженеров. Для сохранения здания был применен специальный способ работ – силикатизация грунтов в основании собора и прилегающего грунт массива. Через него прошли проходческие щиты и построены тоннели. В результате все трудности были успешно преодолены.

Первая линия метрополитена была сдана в эксплуатацию 30 июня 1984 г., нака-

нуне знаменательного праздника – 40-летия освобождения Белоруссии от немецко-фашистских захватчиков. Станции сдали на восемь месяцев раньше срока с оценкой «отлично».

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

В последующем было сдано еще девять участков метрополитена.

Рис. 4. Близкое расположение строительной площадки метро к Кафедральному собору



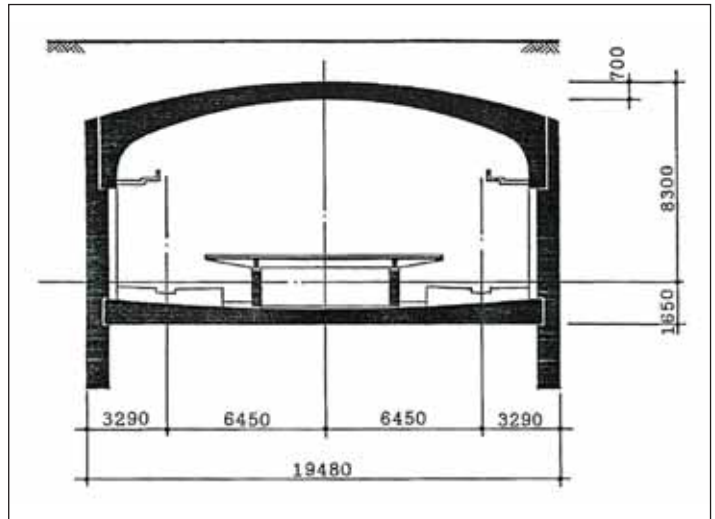


Рис. 5. Колонная станция Минского метрополитена «Площадь Якуба Коласа»

Рис. 6. Обделка платформы станции «Площадь Ленина»

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

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

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

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

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

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

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

По конструктивной схеме станции Минского метрополитена подразделяются на колонные (двух- и трехпролетные) и одно-

сводчатые. Колонные станции в поперечном сечении представляют собой сборно-монолитную раму, включающую элементы, изготавливаемые в заводских условиях, с шарнирным опиранием балок, плит покрытия и перекрытия (рис. 5).

Обделка односводчатых станций – из монолитного железобетона.

Основой конструктивной схемы обделки является жесткое соединение кругового свода и плоского двухшарнирного лотка переменной толщины с вертикальными стенами. Применение монолитного железобетона позволило создавать различные по архитектурному облику станции (рис. 6, 7, 8 и 9).

Для снижения трудоемкости и увеличения темпов строительства Минскметропроект создал новую конструкцию односводчатой станции из сборных железобетонных элементов. Обделка состоит из шести элементов двух типоразмеров по три элемента для лотка и свода станции. Отличие состоит только в армировании (рис. 10). Жесткость соединения элементов лотка, а также свода достигается за счет сварки арматурных выпусков с последующим их омоноличиванием бетоном на безусадочном цементе. Между лотком и сводом – вставка из монолитного

Рис. 7. Односводчатая станция «Площадь Ленина»



Рис. 8. Односводчатая станция «Институт Культуры»





Рис. 9. Односводчатая станция «Парк Челюскинцев»

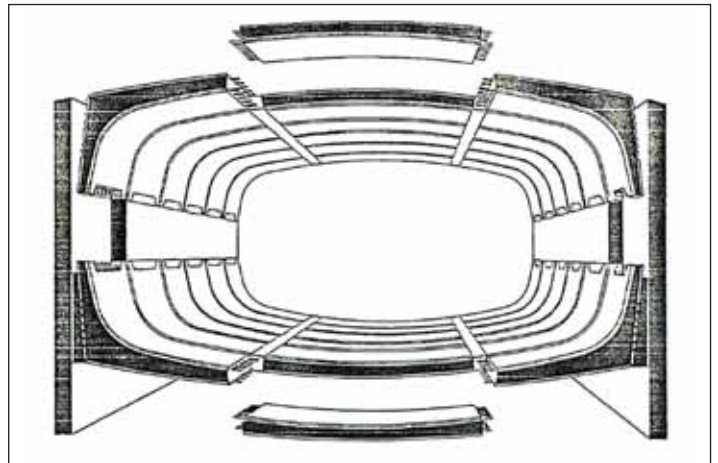


Рис. 10. Обделка односводчатых станций из крупноразмерных сборных железобетонных элементов. Схема конструкции



Рис. 11. Станция «Восток»



железобетона. Вставка может быть разной высоты, и при этом можно менять высоту обделки целиком. Это позволяет разместить в такой обделке все пристанционные сооружения: платформенный участок, вестибюли, вентиляцию, тягово-понижительную подстанцию, вентиляционные. Стены обделки выполнялись методом «стена в грунте» и имели двойное назначение: в период строительства они являлись креплением котлована в сочетании с расстрелами из металлических труб диаметром 630 мм или грунтовых анкеров, а в пери-

од эксплуатации – несущими постоянными конструкциями. Гидроизоляция станций оклеечная, из гидростеклоизола (битума на основе стекловолокна), наносится по методу оплавления газовыми горелками по всему периметру обделки: лотку, стенам, своду. Впервые такая обделка была использована при строительстве станции «Восток» (рис. 11).

А всего в Минске построено шесть станций в такой обделке. Использование индивидуальных архитектурных элементов позволило создать разные по архитектурному

облику и принципам освещения станции (рис. 12, 13, 14 и 15).

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

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

Минский метрополитен проектируется на основании комплексной транспортной схемы, входящей в состав «Генерального плана развития города Минска». В 2014 г. Генераль-

Рис. 12. Станция «Купаловская»



Рис. 13. Станция «Тракторный завод»





Рис. 14. Станция «Молодежная»



Рис. 15. Станция «Фрунзенская»



Рис. 16

ный план был откорректирован и разработана новая схема развития метро (рис. 16). Теперь она состоит из четырех линий (трех диаметральных и кольцевой):

- первая линия протяженностью 20,4 км с 17-ю станциями (идет из северо-восточной части города через центр в юго-восточную часть);
- вторая линия протяженностью 23 км с 16-ю станциями (проходит с запада на восток города);
- третья линия протяженностью 17,7 км с 14-ю станциями (проходит с севера на юг города);

- четвертая линия (кольцевая) протяженностью 26,8 км с 16-ю станциями.

Общая протяженность линий составляет 87,9 км и включает 63 станции.

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

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

- второй участок протяженностью 4 км с тремя станциями (сдача в эксплуатацию – 2022 г.).

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

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

27-28
СЕНТЯБРЯ
2018



ОРГАНИЗАТОРЫ



ОПЕРАТОР МЕРОПРИЯТИЯ



ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСТАВОЧНЫХ
ПРОЕКТОВ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ

ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

www.rus-tar.ru

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ РАСЧЕТ МОЩНОСТЕЙ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

ALTERNATIVE CALCULATION OF THE POWER OF THE SUBWAY TRACTION SUBSTATION

А. Б. Куровский, главный инженер проектов АО «Моспромпроект»

A. B. Kurovsky, Chief Project Engineer of JSC «Mospromproekt»



В статье описан альтернативный подход к расчету мощностей на тяговой подстанции метрополитена, значительно уменьшающий объем вычислений.

This article describes the alternative calculation method of the power of the subway traction substation that greatly decreases the volume of calculation.

На метрополитене принято рассчитывать мощности выпрямительных агрегатов и понизительных трансформаторов на ТП (тяговых подстанциях) по среднему или среднеквадратичному току на шине +825 В. В свою очередь эти токи рассчитывают по изоэкономной имитационной модели движения поездов в зависимости от типов вагонов, режимов движения и профилей путей. Вначале выполня-

ется тяговый расчет, в котором определяется количество энергии, необходимой для движения на электрической тяге, затем электротехнический расчет по балансу токов [2].

Соглашаясь с Л. А. Барановым (РУТ-МИИТ), что расчет мощностей по средним токам принят скорее административным образом и ничем не обоснован, предлагаю альтернативный расчет мощностей на ТП.

Расчет одновременной мощности ТП

На рисунке представлена идеальная схема тяговой сети в окрестности ТП. 1, 2, 3, 4 – обозначение фидеров в тяговой сети, М – тяговые двигатели на вагонах, красными стрелками показано движение токов от шины +825 В к тяговым двигателям; синими стрелками показано движение токов от тяговых двигателей на шину –825 В (отсос). Посередине прилегающих тоннелей устроены

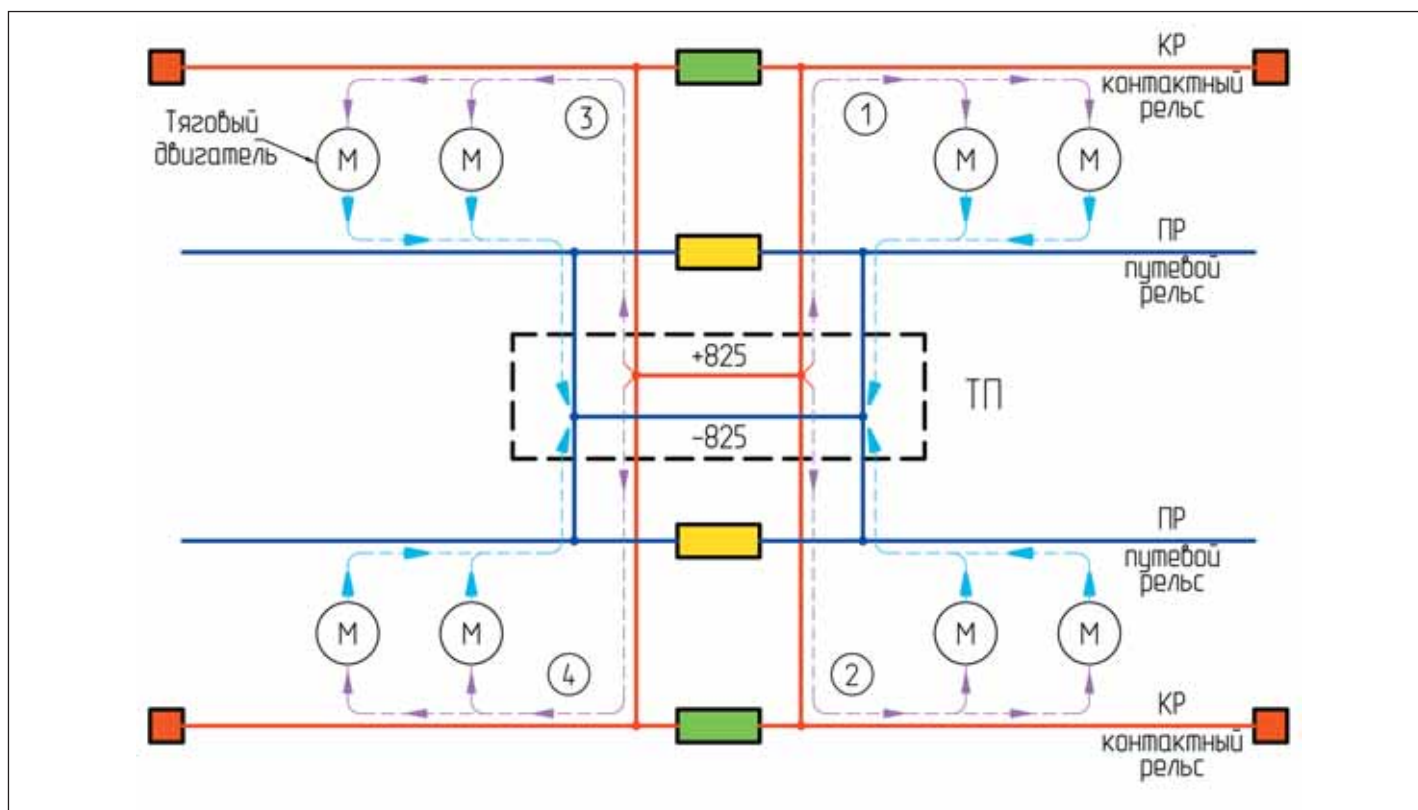


Рис. Идеальная схема тяговой сети в окрестности ТП

изолирующие стыки КР (контактного рельса). Питание вагонов осуществляется от одной ТП. КР и питающие кабели при этом сверхпроводящие, т. е. падение напряжения и потери энергии на КР и питающих кабелях не учитываются. Длины полуперегонов принимаются по 600 м.

Из тяговых расчетов известна функция зависимости работы (энергии) от времени, которая необходима для обеспечения движения вагона по заданному профилю, в заданном режиме, размерах движения и графиках. Это неубывающая функция. Принимаю эту функцию равной 0 при въезде вагона на рассматриваемый участок и в начале движения вагона от платформы. Пускай даже эта функция ступенчатая.

Если обозначить функцию работы на i -том вагоне как $A_i(t)$, то мощность, которую нужно передать от ТП на вагон будет $P_i(t) = A_i(t)'$, т. е. производная функции работы по времени.

Прокатив вагоны по имитационной модели в пиковом периоде движения (при максимальной парности) и беря сумму мощностей по всем вагонам, получаю функцию единовременной мощности, которую нужно обеспечить на ТП.

Учитывая, что агрегаты на ТП могут работать с 3-кратной перегрузкой, достаточно определить среднеквадратичное интегральное значение функции единовременной мощности на промежутках времени с ненулевым потреблением энергии на тягу.

Найденное значение мощности ТП можно принять как 85 % от искомой мощности ТП на тягу без учета потерь, т. к. обычные потери составляют от 6 до 15%.

Ранжирование мощностей ТП по профилям прилегающих путей

Для дальнейших расчетов рассмотрим эталонный вариант уклонов путей в прилегающей к ТП зоне (полуперегоны по 600 м) с «калибровочными» профилями. Просто все пути идут в гору с тангенсом уклона α (α от 0 до 0,043).

Решим серию обратных задач тягового и электротехнического расчетов. Для каждого варианта набора агрегатов по существующей номенклатуре трансформатор-выпрямитель определим максимум α , при котором мощностей на ТП еще достаточно для обеспечения движения вагонов заданного типа в заданных режимах, размерах движения и графиках при эталонном варианте уклонов с учетом потерь на доставку энергии от ТП к потребителям. Способ решения задач значения не имеет.

Для реальных профилей путей выполним операцию «приведения» уклона. Новый приведенный уклон $\beta' = \beta$, если $\beta \geq 0$ и $\beta' = 0$, если $\beta < 0$.

Для приведенного уклона вычислим средний интегральный уклон на участках, где $\beta' > 0$. По среднему интегральному уклону выбираем подходящий вариант мощностей на ТП в предположении, что мощности для уклона среднего интегрального приведенного реального профиля обеспечиваются мощностями для большего уклона эталонного варианта набора агрегатов.

По условию $(N + 1)$ резервирования количества агрегатов на ТП нужно прибавить один агрегат к найденному варианту набора агрегатов.

В реальности в ТЗ на вагон метрополитена необходимо включить положение, пред-

писывающее производителю проводить модельные испытания для калибровочных профилей по существующей (принятой в метрополитене) номенклатуре трансформатор-выпрямитель.

Рассмотрим идеальную линию метрополитена, состоящую из идеальных тяговых сетей, питание децентрализованное; установим парность 50 пар/ч, время стоянки 20 с. Тогда движение по перегону будет без повторного включения двигателей: на тяге 17–20 с, далее выбег и торможение. Удивительно, но для такой схемы на каждой ТП достаточно мощности 4545 кВА. На метрополитене этот результат давно известен.

Приведение любых схем тяговой сети к идеальной легко выполнить с помощью квазибиметаллического КР [1]. А как сделать возможным повторное включение расскажу в следующей статье.

Ключевые слова

Тяговая сеть, контактный рельс, тяговая подстанция.

Traction network, contact rail, traction substation.

Список литературы

1. Куровский А. Б. Квазибиметаллический контактный рельс – дешевле не бывает// Метро и тоннели. – № 2. – 2018. С. 16–17.
2. Тяговые сети метрополитенов, Е. И. Быков, Б. В. Панин, В. Н. Путьнин, Москва, 1987 г.

Для связи с автором

Куровский Александр Борисович
a.kurovsky@mospp.ru



О РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ЕКАТЕРИНБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА ПЕРВОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУСКОВОГО УЧАСТКА ВТОРОЙ ЛИНИИ

Е. С. Коноплев, Екатеринбург

Возможно, Екатеринбург в ближайшие годы начнет проектирование и строительство второй линии метрополитена. Это получится лишь в том случае, если он станет победителем в конкурсе городов за право проведения Международной выставки ЭКСПО-2025. О результатах конкурса будет объявлено в ноябре 2018 г. На встрече с международной делегацией В. В. Путин заявил о готовности государства спонсировать подготовку и проведение выставки. В его заявлении, помимо прочего, было упомянуто о предстоящем развитии транспортной инфраструктуры города, в том числе метро.

Если это будет так, то времени на проектирование и строительство метрополитена осталось немного, а городской бюджет на текущее время не в состоянии профинансировать даже проектные работы. В этой связи не объявляется, как положено, конкурс на проектные работы. Представляется, что победителем конкурса будет объявлена организация, предложившая наиболее экономичные решения на строительство.

Сработав на опережение предстоящих событий, инициативная группа горожан в конце 2017 г. направила в Администрацию города свои предложения на строительство второй линии метрополитена первого периода эксплуатации в условиях недофинансирования (надо полагать, что основные ресурсы для строительства лягут бременем на городскую казну).

В целях доверительного их восприятия чиновниками предложения первоначально были направлены на оценку в ведущие институты страны: «Метрогипротранс» и «Ленметрогипротранс». Позитивная оценка предложений от них была получена, что убедило Администрацию города более внимательно отнестись к нашей работе.

Из ответа Комитета по строительству Администрации города следует: «При выделении финансирования на проектирование и строительство Ваши предложения будут учтены».

В начале текущего года по запросу инициативной группы Администрация города представила исходные данные для расчетов на предмет определения рентабельности метрополитена в целом после строительства второй линии первого периода эксплуатации. Данная работа завершена 17 мая 2018 г. и направлена в городские инстанции. Её результаты с расчетами предлагаются читателям журнала в сокращенной версии.

Аналитическая записка с расчетами по определению уровня рентабельности Екатеринбургского метрополитена первого периода эксплуатации пускового участка второй линии

Настоящей аналитической запиской с расчетами дополняется ранее выполненная нами работа «Предложения по строительству региональных метрополитенов в условиях недофинансирования», в которой даны предложения по экономии ресурсов и снижению сроков строительства Екатеринбургского метрополитена.

Фактор экономии ресурсов должен быть определяющим в принятии решений по строительству. Но не только он один. Расходы на строительство все же разовые: «худобедно» с невероятным напряжением бюджета построили первую линию, залечили финансовые раны и забыли этот 18-летний кошмар с тремя последними станциями.

С окончанием строительства началась эксплуатация линии с ее многомиллионными расходами на содержание вечного периода. Но об этом заранее не думалось. Зачем, если большинство метрополитенов мира убыточны.

Не думается и сейчас до начала проектирования второй линии: подумаешь, полмиллиарда ежегодных затрат на содержание метрополитена! Зато у нас будет густая сеть станций с эскалаторами, которые придают метрополитену особый лоск.

Планируемые на 2018 г. расходы на содержание метрополитена увеличены на 200 млн р. и будут достигать значения (исх. данные) 1582,4 млн р. В то же время выручка линии после оплаты проездов 48,3 млн человек сохранилась и будет составлять всего лишь 1180 млн р. Дотации на содержание метрополитена 402 млн р./год будут обременять городскую казну. Откуда взялся всплеск расходов? Видимо накопились «дыры» прежних лет, которые надо латать. Да и стоимость товаров и услуг неуклонно растет.

Быть может, с построением участков второй линии Екатеринбургский метрополитен поднимется с колен и будет рентабельным? Ответ на этот вопрос содержится ниже.

Целью составления настоящей аналитической записки с расчетами является установление потенциала возможностей по достижению рентабельности метрополитена в целом после ввода в эксплуатацию пускового комплекса второй линии по предлагаемому вариантам. Все зависит от разницы между расходами на содержание сооруже-

ний метрополитена, выручкой после оплаты за проезд (от пассажиропотоков), а также от тарифа. Увеличение тарифа может привести к обратному эффекту. Каков же должен быть пассажиропоток первой линии, чтобы не было убытков для городской казны? Очень просто: расходы на содержание линии делим на тариф $1582,4 : 24,43 = 65$ млн чел./год. По факту же достигнутый пассажиропоток 48,3 млн чел./год (74 % от необходимого).

Затраты на содержание сооружений метрополитена заложены ранее проектными решениями, такими как число станций, и для части из них неудачным расположением на местности, необоснованным увлечением эскалаторными тоннелями и другими решениями. Нижеприведенные расчеты, сведенные в таблицы, наглядно показывают наиболее нерентабельные объекты в метрополитене. Для снижения нерентабельности действующего метрополитена необходимо разработать и выполнять мероприятия по увеличению пассажиропотоков.

Априори любое выполнение мероприятий, влекущее увеличение пассажиропотока (это может быть строительство новых станций, строительство дополнительного выхода на правый берег пруда от ст. «Динамо», исключение из эксплуатации ст. «Машиностроителей», оптимизация маршрутов городского транспорта), автоматически увеличивает выручку всего метрополитена. Увеличение будет связано с появлением новых возможностей для всех пассажиров метрополитена независимо от того, где выполнялись мероприятия. При этом возникает ассоциация данного явления с гидросистемой: вливи «жидкость» (пассажиропоток) в одном месте, а ее уровень повышается во всех точках системы.

С нашими обращениями в 2017 г. в городские инстанции была предоставлена работа «Предложения по строительству...», в которой содержатся описания вариантов со схемами построения пусковых участков второй линии.

При определении уровня рентабельности метрополитена предлагается к рассмотрению каждый из предложенных вариантов построения второй линии, в том числе см. схемы метрополитена на рис. 1 и 2.

1. Автономный пусковой комплекс метрополитена, называемый вторая линия, состоящий на первом периоде эксплуатации из четырех станций и нового депо в западном направлении развития от новой пересадочной

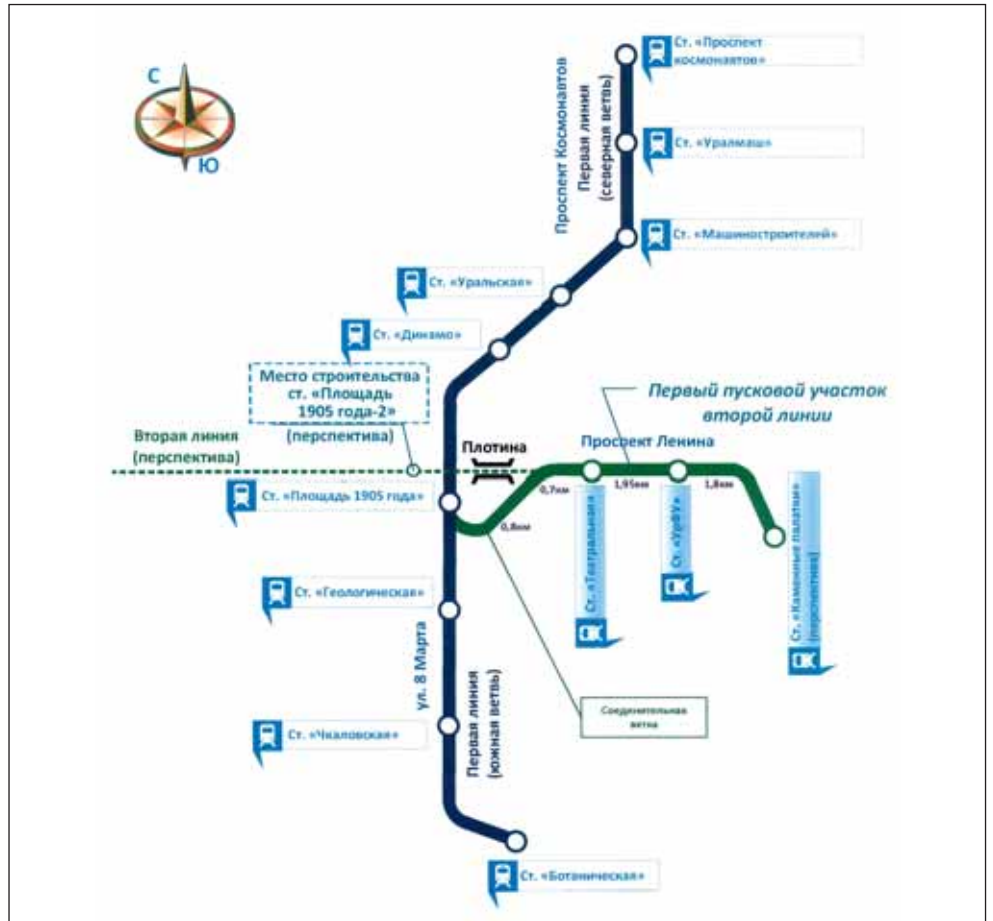


Рис. 1. Схема линий Екатеринбургского метрополитена на промежуточный период

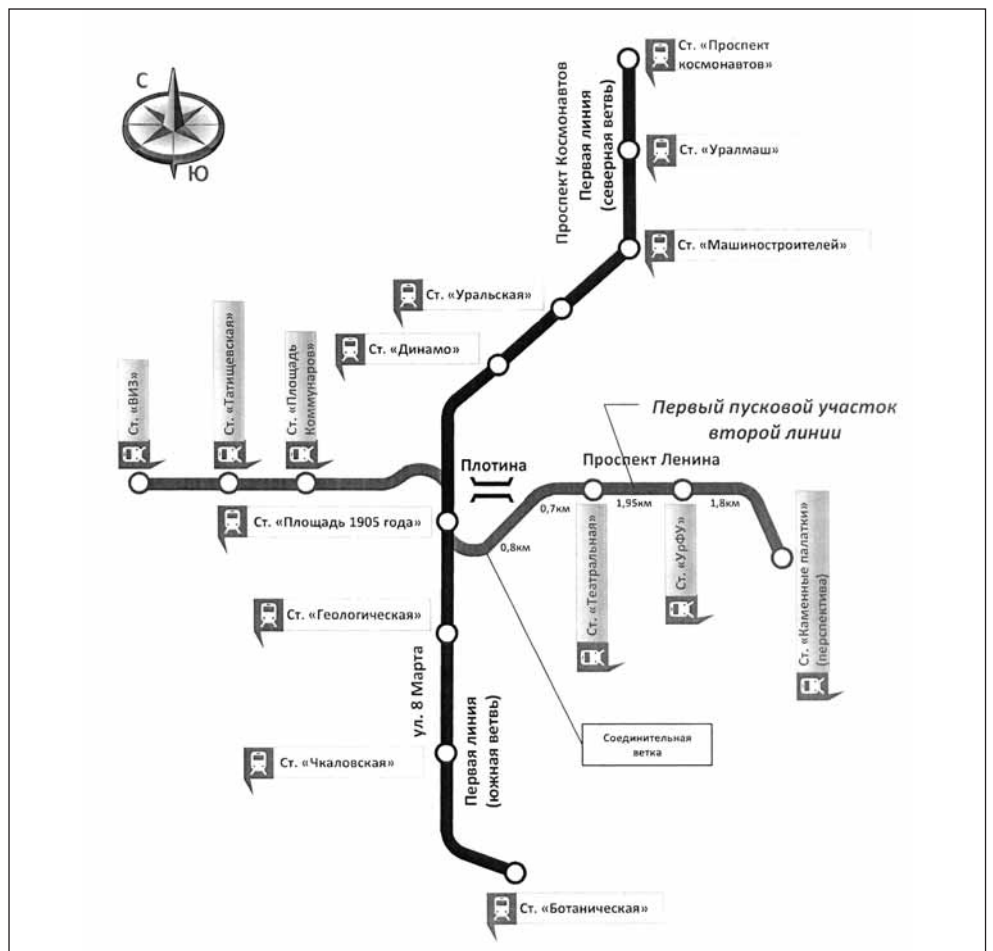


Рис. 2. Схема линий Екатеринбургского метрополитена

Таблица 1

Расчетные показатели действующей первой линии Екатеринбургского метрополитена

Станция	Пассажиропоток		Годовая выручка, млн р.	Затраты на содержание, млн р./год			Прибыль (убытки), млн р./год
	%	млн чел./год		собственно станций, 60 %	иные объекты, 40 %	Итого	
1	2	3	4	5	6	7	8
1. «Проспект Космонавтов» (мелкое заложение)	18,18	8,781	214,52	89[9]	70[6]	159	+58,52
2. «Уралмаш» (мелкое заложение)	10,48	5,062	123,66	89	70	159	(-35,34)
3. «Машиностроителей» (мелкое заложение)	4,71	2,275	55,58	89	70	159	(-103,42)
4. «Уральская» (глубокое заложение)	8,14	3,932	96,06	121[10]	70	191	(-94,94)
5. «Динамо» (глубокое заложение)	5,47	2,642	64,54	121	70	191	(-126,46)
6. «Площадь 1905 года» (глубокое заложение)	15,40	7,438	181,71	121	70	191	(-9,29)
7. «Геологическая» (глубокое заложение)	12,74	6,153	150,32	121	70	191	(-40,68)
8. «Чкаловская» (глубокое заложение)	12,72	6,144	150,10	121	70	191	(-40,9)
9. «Ботаническая» (мелкое заложение)	11,86	5,728	140,00	89	70	159	(-19)
Всего	100	48,3 (план)	1180 [1]	950 (расчет) [7]	630 [5] [6]	1591 (план 1582,4)	(-402,4) [2]

Пояснения к табл. 1

Графы 2 и 3 содержат сведения по пассажиропотокам метрополитена в целом (план) и станциям по отдельности. Процентное соотношение между станциями см. исходные данные. Планируемый пассажиропоток на 2018 г. 48,3 млн человек приведен в исходных данных по итогу 2017 г. По процентному соотношению вычислены пассажиропотоки на всех станциях линии.

Графа 4 «Годовая выручка» определена расчетом с умножением пассажиропотока (гр. 3) на средний реальный тариф за проезд в метрополитене 24,43 р. (план на 2018 г.).

Графы 5, 6, 7 «Затраты на содержание». Затраты на содержание линии в целом запланированы на 2018 г. в объеме 1582,4 млн р. Для предстоящих расчетов рентабельности второй линии имеют значения затраты на содержание отдельных станций. На основании подбора станций-аналогов из первой линии будут определены далее затраты на содержание второй линии. Затраты на содержание станций первой линии определены с учетом разницы по содержанию станций мелкого [9] и глубокого [10] заложения.

Графа 5 содержит расчетные показатели на содержание собственно станций. Отчисления на содержание объектов на поверхности и под землей вне станции учтены в графе 6.

Графа 6 учитывает необходимые дополнительные отчисления на содержание объектов [5]. Затраты в размере 70 млн р. [6] определены делением общих затрат метрополитена 630 млн р. [5] на количество станций. Условно из касс каждой из станций отчисляются данные затраты.

Графа 7 – итоговые показатели.

В графе 8 приведено распределение дотаций по станциям. Прибылью обладает только одна из станций – «Проспект Космонавтов».

Для обеспечения рентабельности станций мелкого заложения с итоговыми затратами на содержание 159 млн р./год пассажиропоток на ней должен быть не менее $159 : 24,43 = 6,5$ млн чел./год, где 24,43 тариф за проезд.

Для станций глубокого заложения с затратами на содержание 191 млн р./год – $191 : 24,43 = 7,8$ млн чел./год (7,8 много больше 6,5).

ст. «Площадь 1905 года» до ст. «Металлургическая» на окраине города. Вариант предложен Администрацией города.

2. Очередной участок метрополитена из трех новых станций первого периода эксплуатации второй линии, соединенный с первой линией и её депо с организацией маршрутного движения поездов в западном направлении от действующей ст. «Площадь 1905 года» до ст. «ВИЗ».

В данном варианте в зависимости от пассажиропотоков маршрутное движение поездов южного и западного направлений может быть организовано также от станций «Геологическая» или «Ботаническая», имеющих, как и ст. «Площадь 1905 года», оборотные тупики.

3. Очередной участок метрополитена из двух новых станций первого периода эксплуатации второй линии, соединенный с первой линией и её депо с организацией маршрутно-

го движения поездов северного и восточного направлений от ст. «Проект Космонавтов» до ст. «УРФУ» через ст. «Театральная» с поворотом до нее части поездов с первой линией.

Примечание: термины и определения, примененные в наименованиях вариантов, использованы из п. 4.8 СНиП 32-02-2003 «Метрополитены» (акт. ред.).

Перечень исходных данных составлен ЕМУП «Екатеринбургский метрополитен»

по нашим вопросам и представлен через Комитет по транспорту Администрации города.

Перечень содержит лишь общие параметры без всякой конкретики, из которого выделены следующие, планируемые на 2018 год.

1. Пассажиропоток действующей линии метрополитена, млн чел. – 48,3.

2. Реальный (с учетом наличия льготной категории пассажиров) средний тариф за проезд, р. – 24,43.

3. Расходы на содержание действующей линии, тыс. р. – 1582400.

4. Пассажиропотоки действующих станций метрополитена в процентном соотношении к общему потоку, равному 100 %.

По предъявленным исходным данным проведены следующие расчеты начального уровня.

1. Выручка метрополитена на 2018 г., определенная умножением пассажиропотока 48,3 млн чел. на средний тариф 24,43 р., составляет примерно 1180 млн р. [1].

2. Уровень нерентабельности линии, определяемый разницей между реальной выручкой и планируемыми расходами на содержание, будет составлять $1180 - 1582,4 = -402,4$ млн р. [2], это дотации из горбюджета.

3. Усредненные расходы на содержание одной из девяти станций, независимо от глубины заложения, будут составлять $1582,4 : 9 = 176$ млн р./год [3].

В решении основной задачи в условиях недостаточности исходных данных возникает необходимость в проведении анализа с расчетами и ссылками на опытные данные, накопленные за прошедшее столетие существования метрополитенов.

Определение величины расходов на содержание метрополитена производится:

а) по среднему реальному тарифу за проезд;

б) по пассажиропотокам в линиях метрополитена, от которых напрямую зависит его выручка, определяемая умножением числа перевезенных пассажиров на тариф за проезд;

в) по расходам на содержание объектов метрополитена (собственно станции, сооружения поверхности, подземных объектов вне тел станций), от которых напрямую зависит рентабельность.

По п. а) – тариф устанавливается Администрацией города.

По п. б) – исходными данными не представлены грядущие пассажиропотоки с новой линией и составляющих ее станций. При решении задачи возникла необходимость определения пассажиропотоков иными в отличие от классики способами со ссылкой на мировую практику.

По п. в) – отсутствуют сведения в исходных данных. Учет расходов не ведется. Как быть?

Разложим «по полочкам» предъявленные в исходных данных общие расходы на содержание первой линии и на базе полученных результатов подберем из действующей линии станции – аналоги для планируемых к строительству новых станций. При этом в раскладе «по полочкам» затраты на содержание действующих станций ссылаемся на многолетний опыт.

Мировая практика эксплуатации метрополитенов в прошедшем столетии накопила значительный опыт, который предлагаем использовать в прогнозе пассажиропотоков в двухлинейном Екатеринбургском метрополитене.

При выборе города-аналога применительно к Екатеринбургскому метрополитену с двумя линиями точь-в-точь подходит Новосибирский двухлинейный метрополитен, как по протяженности линий, так и по числу станций.

Пассажиропоток Новосибирского метрополитена составляет 85 млн чел. в год. В расчетах по определению уровня рентабельности Екатеринбургского метрополитена принимается годовой пассажиропоток 85 млн чел. на полное развитие и 75 млн чел. [4] первого периода эксплуатации.

Логично было бы определять затраты на содержание новых станций второй линии метрополитена по станциям-аналогам из числа действующих. Это возможно, если были бы известны данные затраты. Известны лишь общие затраты на содержание всей действующей линии. Для решения задачи из этих затрат возникает необходимость разложения «по полочкам» затрат на содержание действующей линии по группам расходов.

Первая группа расходов – содержание зданий и сооружений, расположенных на поверхности, включая: электродепо, административно-бытовые здания, базу метрополитена, подстанции и сети, объекты водоотведения и прочее.

Вторая группа расходов – содержание подземных объектов линии, не входящих в станционные комплексы, включая: перегонные тоннели с тупиками, с обслуживанием и ремонтом обделки, объекты вентиляции (вентиляционные стволы, шахты камеры вентиляторных установок), расход электроэнергии на движение поездов, объекты водоотведения (насосные станции) и прочее.

Расходы вышеуказанных групп постоянные и не зависят от пассажиропотоков в линии. Их значение не включено в перечень исходных данных.

Возникла необходимость сослаться на опытные данные. По предварительной оценке обе группы расходов достигают 40 % от общих годовых расходов на содержание метрополитена в 1582400 тыс. р., что составляет сумму 630 млн р./год [5].

Усредненные отчисления от выручки каждой из девяти станций на погашение затрат по содержанию линии с первой и второй группами расходов могут составлять в млн рублей $630 [5] : 9 = 70$ [6].

Третья группа расходов – содержание девяти станционных комплексов в линии.

Общие расходы на их содержание с учетом 40 % – отчисления на первую и вторую группы расходов достигают (60 % от 1582400 тыс. р.) – 950000 тыс. р. [7]. При этом усредненные расходы на содержание (если исходить из равенства затрат) одной станции действующей линии составят: $950000 : 9 = 105556$ тыс. р. [8].

Данные усредненные затраты на содержание каждой из девяти станций – величина постоянная, не зависящая от пассажиропотоков.

Значимым отличием станционных комплексов являются конструктивно-технологические решения, по которым они построены. Из всех отличий имеют значение, с точки зрения затрат на содержание станций, глубины их заложения: мелкое без эскалаторных тоннелей и глубокое с эскалаторными тоннелями (на линии их пять из девяти). Наличие эскалаторного тоннеля на станции увеличивает ее расходы на содержание. Насколько конкретно – исходные данные не содержат.

Увеличение расходов неизбежно связано с высокими энергозатратами (суточная 18-часовая работа в тоннеле двух мощных приводов эскалаторов с подъемом-опусканием значительной массы пассажиров, плюс освещение), а также наличием дополнительного персонала у эскалаторов, обслуживанием и ремонтом узлов и агрегатов эскалаторов, приобретением запасных частей и расходных материалов.

По предварительной оценке содержание станции глубокого заложения с энергозатратным эскалаторным тоннелем обходится метрополитену на 30 % дороже станции мелкого заложения.

Таким образом, при усредненных расходах на содержание одной станции метрополитена в размере 105556 тыс. р. в год [8] реальные расходы имеют примерные значения:

- для станций мелкого заложения без эскалаторных тоннелей – 89 млн р. в год [9] (минус 15 % от усредненного расхода);
- для станций глубокого заложения с эскалаторными тоннелями – 121 млн р. в год [10] (плюс 15 % от усредненного расхода).

Четвертая группа расходов – амортизационные отчисления на замену изношенного оборудования метрополитена.

В условиях, когда бюджет города едва сводил концы с концами по дотациям на содержание метрополитена и его строительство, амортизационные отчисления не производились. Наступило время, когда возникла необходимость серьезных затрат: к 2020 г. истекает предельный срок эксплуатации 54 вагонов из 62. Замена обойдется более 3 млрд рублей на фоне общих высоких дотаций.

Все данные и расчетные показатели по действующей первой линии на планируемый 2018 г. приведены в табл. 1.

Таблица 2

**Вариант 1. Расчетные показатели первого периода эксплуатации второй линии
с западным вектором развития от пересадочной ст. «Площадь 1905 года» до ст. «Металлургическая»**

Наименование станции	Индекс популярности (ИПС)		Прогнозируемый пассажиропоток, млн чел./год	Выручка при тарифе 24,43 р., млн р./г.	Затраты на содержание станций, млн р./год			Прибыль (убытки), млн р./год
	1-я линия	2-я линия			собственно станций	40 % отчисления	Итого	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. «Проспект Космонавтов» (мелкое заложение)	8,8		10,21	249,4	89	70	159	+90,4
2. «Уралмаш» (мелкое заложение)	5,1		5,9	144,1	89	70	159	(-14,9)
3. «Машиностроителей» (мелкое заложение)	2,3		2,7	66	89	70	159	(-93)
4. «Уральская» (глубокое заложение)	4,0		4,64	113,4	121	70	191	(-77,6)
5. «Динамо» (глубокое заложение)	2,6		3,0	73,3	121	70	191	(-117,7)
6. «Площадь 1905 года» (глубокое заложение)	7,4		8,6	210,1	121	70	191	+19,1
7. «Геологическая» (глубокое заложение)	6,2		7,2	175,9	121	70	191	(-15,1)
8. «Чкаловская» (глубокое заложение)	6,1		7,1	173,5		70	191	(-17,5)
9. «Ботаническая» (мелкое заложение)	5,7		6,6	161	89	70	159	+2,0
10. «Металлургическая» (глубокое заложение) аналог ст. «Ботаническая»		5,7	6,6	161	121	70	191	(-30,0)
11. «Татищевская» (глубокое заложение) аналог ст. «Уралмаш»		5,1	5,9	144,1	121	70	191	(-46,9)
12. «Площадь Коммунаров» (глубокое заложение) аналог ст. «Геологическая» $K = 0,7$		$6,2 \times 0,7 = 4,3$	5,0	122	121	70	191	(-6,9)
13. Пересадочная ст. «Площадь 1905 года» (глубокое заложение) аналог ст. «Уральская» периода 1993 г.		1,5	1,7	41,5	121	70	191	(-149,5)
ИТОГО	48,2	16,6						
ВСЕГО		64,8	75[4]	1835,3	1445	910 [5,6]	2355	(-519,7)

Пояснения к табл. 2

Графы 2 и 3 содержат индексы популярности станций (ИПС) действующих (гр. 2) и намечаемых к строительству (гр. 3). Подбор станций-аналогов для новых станций проведен по схожести градостроительных планировок вокруг действующих станций в пределах шаговой доступности, а также по наличию маршрутов городского транспорта, крупных ТРЦ.

Полученные значения ИПС (гр. 2 и 3) суммируются с получением общего для обеих линий 64,8. Значение по пассажиропотоку одной единицы ИПС принимается делением общего пассажиропотока линий 75 млн чел./год на их суммарный индекс популярности, т. е.: $75 : 64,8 = 1,16$.

Прогнозируемые пассажиропотоки (гр. 4) с учетом увеличения спроса метрополитена с достижением новых возможностей по транспортировке пассажиров определяются умножением ИПС станции на полученное значение одной единицы ИПС 1,16. Например, на ст. "Уралмаш" пассажиропоток изначально был 5,1 млн чел./год, а с вводом второй линии стал $5,1 \times 1,16 = 5,9$ млн чел./год.

Такой способ определения пассажиропотоков позволяет определять их как для действующих, так и для новых станций и нивелирует отсутствие исходных данных для расчетов.

Пассажиропоток по метрополитену в целом первого периода эксплуатации второй линии – 75 млн чел./год (гр. 4) – подобран на основании мирового опыта эксплуатации двухлинейных метрополитенов. Если все же фактический пассажиропоток и будет отличаться от прогнозируемого, то немного (плюс-минус 10 %). Для получения результатов по определению выручки прогнозируемый пассажиропоток на станциях умножается на средний реальный тариф 24,43 р. за одно посещение подземки (гр. 5).

Для определения рентабельности станций (линий) из выручки (гр. 5) вычитаются затраты (графы 6, 7 и 8) на содержание собственно станций с дополнительными расходами, отраженными в гр. 7 (40-% отчисления) [5]. Данные затраты будут иметь постоянные значения и не зависят от пассажиропотоков.

В графе 6 содержатся затраты на содержание собственно станций. Их значения зависят только от конструктивно-технологических решений, по которым станции построены или будут строиться. Либо это мелкое заложение (ежегодные затраты на содержание 89 млн р.), либо глубокое заложение (121 млн р.).

В графу 7 включены затраты на 40-% отчисления [6] для содержания первой и второй групп сооружений метрополитена на поверхности и под землей, не входящие в состав собственно станций. Данные затраты – величина постоянная, не зависящая от пассажиропотоков.

Графа 8 содержит итоговые значения по затратам на содержание объектов метрополитена с учетом совместной эксплуатации первой и второй линий по данному варианту.

В графу 9 внесены полученные результаты по прибыли или убыткам каждой из станций, а также метрополитена в целом.

Расчетные показатели первой линии метрополитена, приведенные в табл. 1, в решении предстоящей задачи по определению уровня рентабельности двух линий метрополитена служат отправной базой в дальнейших расчетах. Графы 5, 6 и 7 табл. 1 содержат расчетные показатели затрат на содержание станций, в том числе для станций глубокого и мелкого заложения. Как видно из табл. 1 затраты на содержание станций практически одинаковые (отличие по глубине заложения). Это создает предпосылки при определении затрат на содержание второй линии использовать расчетные показатели станций-аналогов из первой линии.

В данной работе пассажиропотоки новых станций метрополитена определены по станциям-аналогам из числа действующих по схожести градостроительной ситуации как вокруг новых станций, так и станций-аналогов в пределах шаговой доступности к ним. Учитываются также наличие маршрутов городского транспорта и иные условия расположения станций. Подбор станций-аналогов при определении пассажиропотоков отражен в табл. 2.

В данной работе вводится понятие – индекс популярности станции (ИПС). Чем выше пассажиропоток станции, тем выше ИПС. Наличие этого понятия позволяет фиксировать пассажиропоток станции-аналога из действующей линии и перенести его в расчетах на новую линию, содержащую станцию со схожими параметрами. Необходимость введения ИПС заключается в том, что с изменением пассажиропотока на каком-то участке метрополитена (в данном случае вторая линия) автоматически изменяется пассажиропоток всех без исключения станций действующей линии. А вот насколько, и каков будет пассажиропоток новых станций?

Для ответа на данные вопросы определяется условная единица популярности, которая выводится следующим образом. ИПС действующих станций принимается по сложившемуся пассажиропотоку. Например, для станции «Ботаническая» текущий пассажиропоток составляет 5,7 млн чел./год (см. табл. 2). Следовательно, ИПС станции равен 5,7 единиц. Данная станция может служить в качестве станции-аналога для ст. «Металлургическая» (окраина города, плотность застройки и т. п.). Пассажиропоток ст. «Металлургическая» будет, примерно, равен 5,7 млн чел./год. Соответственно ИПС станции принимает 5,7 единиц.

ИПС всех станций (действующих и новых) складываются. Например, для варианта 1 (см. табл. 2) суммарный ИПС (48,2 + 16,6) будет равен 64,8.

При пассажиропотоке всего метрополитена в 75 млн чел./год [4] значение условной единицы популярности определено делением общего пассажиропотока на

суммарный ИПС $75 : 64,8 = 1,16$. То есть единица популярности будет соответствовать 1,16 млн чел./год. Далее при определении прогнозируемого пассажиропотока на всех станциях (графа 4) ИПС станций (графы 2 и 3) умножаются на коэффициент 1,16, показывающий увеличение пассажиропотока за счет совместной работы линий. Расчетные данные по варианту 1 первого периода эксплуатации приведены в табл. 2.

Выводы по результатам внесенных в табл. 2 расчетных показателей

С вводом в эксплуатацию автономного пускового комплекса метрополитена, состоящего на первом периоде эксплуатации из четырех станций и нового депо, в западном направлении развития от новой пересадочной ст. «Площадь 1905 года» до ст. «Металлургическая» на окраине города ежегодные убытки метрополитена будут достигать значения (гр. 9) около 520 млн р. К прежним убыткам по содержанию первой линии около 402 млн р./год добавляются новые убытки 118 млн р./год.

Основу данных убытков в 149,5 млн р./год (гр. 9) составляет пересадочная станция «Площадь 1905 года» с ее выручкой 41,5 млн р./год и затратами на содержание 191 млн р./год.

С точки зрения увеличения пассажиропотоков пересадочная станция является станцией «Пустышкой». Ее основное предназначение – обеспечить пересадку пассажиров с одной линии на другую. Даже если на этой станции не построить эскалаторный тоннель, то его отсутствие пассажиры не заметят, так как по подземному переходу между станциями они смогут пересаживаться в поезда разных линий или выходить на поверхность. Все пассажиры, прибывающие на пересадочную станцию, либо с первой линии, либо с трех станций пускового комплекса второй линии, ранее уже где-то оплатили за проезд при спуске в подземку и не будут оплачивать проезд на данной станции – ноль выручки. И все же в расчетные показатели табл. 2 (гр. 4) для улучшения показателей пересадочной станции включен прогнозируемый пассажиропоток 1,7 млн чел./год. Это та часть пассажиров, которая будет спускаться в подземку на «Площадь 1905 года» (с оплатой через кассу новой станции) для проезда только в западном направлении к одной из трех новых станций. Станцией-аналогом может служить ст. «Уральская» периода эксплуатации 1993 г. Совпадения по числу станций на три перегона в линии, ведущей на окраину города, крайнее расположение начальной (конечной) на тот период станции, слабый пассажиропоток.

Аналогичные табл. 2, составленной для варианта 1 предложений на строительство второй линии, составлены таблицы для второго и третьего вариантов.

Согласно расчетам по варианту 2, убытки метрополитена могут составлять 247,5 млн р./год, а по варианту 3 – 61 млн р./год.

Если рассматривать по отдельности будущее финансовое состояние первой и второй линий при их совместной работе, то вторая линия, первого периода эксплуатации, построенная по варианту 2, может быть самоокупаемой, а по варианту 3 – прибыльной в размере примерно 120 млн р./год.

Там где строительство объекта сулит прибыль – туда может вовлекаться частный капитал (например, более успешный китайский), как это наблюдается при строительстве автодорог. На основании договора муниципально-частного партнерства может функционировать участок линии метрополитена, встроенный в общую схему. Муниципалитету строительство участка линии на любых условиях выгодно хотя бы потому, что решаются транспортные проблемы города и снижается размер дотаций на содержание подземки за счет увеличения её пассажиропотока.

Предложенный метод определения рентабельности линии метрополитена может быть использован в любом городе на любой стадии осуществления проекта – от предпроектных соображений до ввода в эксплуатацию. Представляется необходимость в составлении общей базы данных с обобщением опыта эксплуатации метрополитенов как России, так и зарубежных стран, в целях использования их при определении рентабельности вновь проектируемых линий (пассажиропотоки и затраты на содержание линий и станций). При этом из общей базы данных выбираются станции-аналоги (участок линий) применительно к конкретному городу по схожести с аналогом.

Априори муниципалитетам необходимо знать о предстоящих затратах на содержание линии после ее построения и при необходимости иметь возможность внесения корректировок в намечаемые планы.

Вопиющая нерентабельность первой линии Екатеринбургского метрополитена была полной неожиданностью для чиновников. Более худшая ситуация с нерентабельностью метро первого периода эксплуатации поджидает Челябинск, если не принять соответствующие решения. Уже сейчас можно определить величину ожидаемых дотаций по аналогии с Екатеринбургом и наметить мероприятия по их снижению.

На примере нерентабельности ст. «Уральская» Екатеринбургского метрополитена (ежегодные убытки около 95 млн р.), расположенной в зоне железнодорожного и авто вокзалов, к содержанию пункта 4.11 СНиП 32-02 «Метрополитены» возникают вопросы.

Для связи с автором

Коноплев Евгений Степанович
Konopleva_74@mail.ru



КВАНТОВЫЕ АСПЕКТЫ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

QUANTUM ASPECTS OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

Д. М. Мутушев, канд. физ.-мат. наук

М. А. Мутушев, д-р техн. наук, Тоннельная ассоциация России

D. M. Mutushev

M. A. Mutushev, Doctor of technical sciences, Russian Tunneling Association

Рассматриваются вопросы развития науки и внедрения достижений научно-технического прогресса в подземном строительстве. Обосновываются перспективы внедрения разработок на основе квантовой физики в горном деле.

The paper examines the development of science and introduction of achievements of scientific-technical progress in subterranean construction. Substantiates the prospects of introduction of quantum physics in mining affair.

Ретроспективный обзор развития науки и техники показывает, что во многих отраслях оно происходит своеобразными циклами, состоящими из двух основных этапов:

I – создание (открытие, изобретение, разработка) новых процессов, технологий, образцов техники и др. Как правило – это прорыв, техническая революция;

II – период долговременного использования результата, полученного в I этапе (в наше время – несколько десятилетий), с одновременным совершенствованием методов, модернизацией оборудования и др. Такое эволюционное движение на II этапе доходит до предела, приводящего к принципиальному устареванию, и тогда вновь происходит техническая революция (по I этапу), результаты которой вытесняют устаревшую практику II этапа.

Проиллюстрируем эти рассуждения диаграммой, приведенной на рис. 1, и подтвердим их примером из отрасли подземного строительства.

Строительство тоннелей с древних времен и до XIX в. велось с помощью ручных инструментов (ломы, кирки, клинья, кувалды и др.) способом, который весьма условно можно отнести к горному. Как видим, если изобретение лопаты состоялось на I этапе, то этап работы руками (II) затянулся на века. В XIX в. появились первые проходческие щиты прямоугольной формы – в 1825 г., и цилиндрического сечения – в 1869 г. Это было прорывом в тоннелестроении (I этап) и позволило резко нарастить темпы безопасного строительства тоннелей различного назначения. Далее, в течение многих лет, шло практическое использование этих проходческих щитов с одновременным совершенствованием по линии оснащения их рабочими органами для разработки породы в забое и погрузки на транспортные средства (II этап).

Наконец, в 1897 г. состоялся новый революционный прорыв – появился первый

механизированный щит (I этап). За прошедшие после этого десятилетия шла эксплуатация механизированных щитов и совершенствование их конструкций (II этап). Различные конструктивные разновидности механизированных щитов создавались во Франции, США, Германии, СССР, Японии и ряде других стран.

И вот, после почти 100-летнего эксплуатационного «марафона», возможности совершенствования механизированных щитов оказались практически исчерпанными и сама жизнь стимулировала новую техническую революцию (I этап) – создание качественно новых механизмов – тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), обеспечивающих значительное ускорение и безопасность строительства и включающих принципиально иные щиты (с активным пригрузом призабойного пространства), системы мониторинга щитовой технологии, системы транспортной откатки породы, устройства монтажа герметичной блочной обделки и еще ряд инновационных решений. В настоящее время ТПМК эффективно функционируют на строительстве и постоянно модернизируются фирмами-производителями. Таким образом, идет II этап, до исчерпания возможностей которого еще достаточно далеко.

Проведение выработок хотя и является основным процессом в комплексе работ по строительству линий метрополитена, но далеко не единственным. Если в былые годы определяющим для сроков строительства являлось сооружение тоннелей, то с появлением ТПМК на критическом пути зачастую оказываются другие

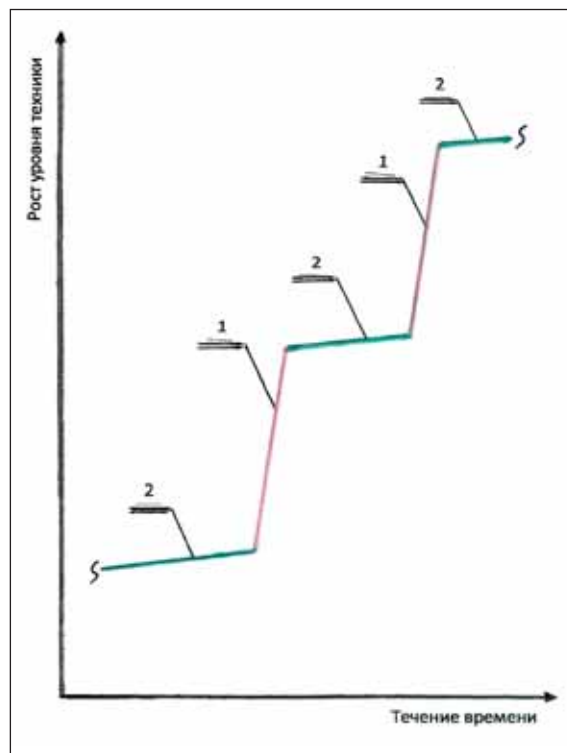


Рис. 1. Диаграмма развития науки и техники: 1 – этап 1 (прорыв, научно-техническая революция); 2 – этап 2 (эволюционное совершенствование техники)

виды работ. Это инженерная подготовка производства, сооружение котлованов, станций, притоннельных сооружений, камер и др. И, конечно же, к работам, влияющим на безопасность, сроки и качество строительства, следует отнести подготовку к воздействию на массив горных пород в сложных гидрогеологических, газодинамических и геомеханических условиях. Правильная оценка и отнесение массива горных пород к тем или иным сложным условиям значительно способствует обеспечению безопасного, качественного, своевременного и экономичного строительства линии. А для этого необходима достоверная и полная информация об указанных условиях, получаемая путем

инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий.

Вопросам указанных изысканий уделено большое внимание в нормативных документах и технической литературе.

Так, наш основной нормативный документ – Свод правил СП 120.13330.2012 «Метрополитены» [1] в главе 5.1 подробнейшим образом регламентирует вопросы проведения инженерных изысканий, в том числе инженерно-геологических, инженерно-геофизических и инженерно-экологических. Кроме того, Свод правил в главе 6.4 рассматривает вопросы инженерно-геологического обеспечения в период производства строительных работ. Аналогичные положения имеются и в Правилах безопасности при строительстве подземных сооружений ПБ 03-428-02 [2], в п. 5.5.3 и 5.7.3 которых содержатся требования о бурении опережающих разведочных и контрольно-наблюдательных скважин при проходке восстающих выработок и при строительстве подземных сооружений в особо опасных инженерно-геологических условиях.

Вопросы классификации и критериев оценки физико-механических свойств горных пород детально исследованы в фундаментальном труде группы видных специалистов «Шахтное и подземное строительство» [3], а также в монографии «Подземные сооружения» [4], где рассмотрены не только скважинные методы разведки, но и перспективные геофизические методы.

К преимуществам последних относятся:

- способность оперативно давать информацию о строении и свойствах грунтового массива;
- разнообразие средств и методов исследований в любых условиях, их относительно невысокая стоимость;
- четкая взаимосвязь геофизических характеристик с основными физико-механическими показателями свойств горных массивов;
- возможность исследования крупных областей грунтового массива (в то время как скважинные методы позволяют получать данные лишь в отдельных точках).

В работе Б. А. Картозии, Б. И. Федунца и др. [3] обоснованы (в том числе) рекомендации по использованию геомониторинга и георадаров для повышения надежности подземного строительства. Подчеркивается, что применение геомониторинга с использованием георадаров позволяет осуществлять сканирование пустот и прогнозирование изменения свойств породы впереди забоя во вмещающем массиве. Метод георадиолокационного поверхностного зондирования основан на изучении распространения электромагнитных волн в среде. Существующие в настоящее время георадары (отечественные и зарубежные) осуществляют детектирование неоднородной диэлектрической проница-

емости исследуемой среды, однако лишь на дальность зондирования 3–5 м, что недостаточно на фоне скоростей проходки, достигаемых ТПКМ. Необходимо отметить, что и сами авторы указанных работ, авторитет которых в горном деле непреерекаем, выражают неудовлетворенность существующим положением дел. Например, в работе В. П. Абрамчука и др. [4] приводятся возможные принципиальные подходы к организации изысканий: провести изыскания в ограниченном объеме и принять в проекте избыточный запас надежности; выполнить изыскания в ограниченном объеме и принять в проекте допущения в меру разумной предосторожности; осуществить максимально детальные изыскания, и делается вывод, что из-за недостатка финансирования заказчик обычно принимает второй вариант. Такое решение приводит к тому, что не менее чем на 60 % объектов строительства возникают осложнения из-за непредвиденных инженерно-геологических условий. Здесь можно добавить (в порядке некоторого оправдания заказчика), что для выбора наиболее предпочтительного третьего варианта нет не только финансовых, но и технических возможностей.

В профессиональной периодической литературе можно увидеть ряд идей и предложений по совершенствованию существующей системы получения информации об условиях массива горных пород. В первую очередь – это работы таких крупных специалистов, как д. т. н. С. В. Мазейна и Е. М. Пашкина [5, 6]. Однако и они вынуждены признать, что «подземное пространство Москвы изучено достаточно полно не только количеством разведочных скважин, но и многими случаями нештатных ситуаций». (Представляется, что уважаемые ученые выразились максимально деликатно).

А ведь это главная цель инженерных изысканий: избежать нештатных ситуаций, аварий, инцидентов. При этом – обеспечить хорошее качество, высокую скорость проходки, экономичность строительства и т. д.

Как видим, пока это получается не очень. Что же делать?

Принципиальный подход к ответу на аналогичный вопрос проявил В. П. Абрамчук с коллегами, заявив, что дальнейшее использование положений механики сплошной среды в механике горных пород бесперспективно. Требуется совершенствование физических основ геомеханики [7].

Представляется, что это правильный подход, тем более что он близок к выводам академика РАН В. В. Адушкина, сделанным на базе многолетних исследований и испытаний [8]. В работах В. В. Адушкина и его коллег существенно развита модель твердого тела со структурой, позволяющая прогнозировать развитие де-

формационных процессов горных пород во времени, разработаны модели горных массивов блочно-иерархического строения, установлены особенности их деформирования с учетом дифференциальных движений, разработаны новые представления о распространении сейсмических волн в земной коре, сейсмическом режиме земной коры как деформационном процессе с накоплением деформаций и концентрацией напряжений на неоднородностях и в зонах тектонических нарушений, изучены и обогащены новыми знаниями вопросы трещиноватости массива горных пород. В ходе исследований потребовалось пересмотреть некоторые представления о геофизических процессах в природных средах, а также создать совершенно новый арсенал средств получения информации и геофизических измерительных средств, в том числе высокоскоростных регистрирующих оптических систем, сейсмических датчиков высокой чувствительности и др.

В подземном строительстве мы пока отстаем от этого уровня.

Рассматривая проблему получения достоверной и полной информации об инженерно-геологических условиях подземного строительства и пользуясь этапностью, предложенной в начале данной статьи, можно сказать, что мы застряли во II этапе. Образно выражаясь – мы стараемся усовершенствовать телегу, но если хотим ехать быстро, то нужно пересаживаться на автомобиль.

Полагаем, что в роли такого символического автомобиля следует рассматривать квантовую теорию, достижения в развитии которой показывают, что она дает возможность практической реализации того, что ранее считалось невозможным.

Крупный специалист в области физики Земли д. т. н., проф. В. В. Кузнецов выполнил за последние годы целый ряд исследований, включающих такие вопросы, как создание модели генерации геомагнитного поля и дрейфа магнитных полюсов, создание принципа минимизации гравитационного потенциала и разработка на его основе новых взглядов на глобальную сейсмичность Земли, разработка модели сильных движений грунта, создание модели образования ударной волны в литосфере на основе когерентного и коллективного взаимодействия элементов среды в процессе прохождения структурного фазового перехода, а также изучение физики генерации инфразвука при сейсмических событиях, сейсмо-ионосферные эффекты и др.

Важным направлением научной деятельности В. В. Кузнецова является обоснование основных положений и разработка меморандума о построении науки под условным названием «квантовая геофизика» [9].

Анализ многих природных явлений показывает, что составляющие биосферы –

литосфера, гидросфера и атмосфера, обладают кооперативными свойствами, или, как говорят в физике, обладают дальним порядком. В классической физике нет разумного объяснения явлениям, обладающим свойствами саморегуляции и в то же время – своеобразной «памятью». Единственный способ ответить на этот вопрос – это привлечь квантовую механику. Но современная квантовая механика создана для отдельных частиц при температуре вещества близкой к нулю Кельвина. Геофизика же имеет дело с огромным количеством частиц. И это принципиальный вопрос. Второй принципиальный вопрос состоит в том, что квантовые свойства геофизическая среда должна проявлять совсем не при нулевых температурах, а значительно более высоких – комнатных и выше.

Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена (ЭПР) в квантовой физике позволяет иметь пару квантовых частиц, обладающих одинаковыми свойствами, даже если между ними огромное расстояние. Такие частицы называют сцепленными, запутанными. В квантовой механике разработана математика, описывающая взаимодействие между запутанными частицами. Но многочастичная квантовая запутанность (МКЗ) остается весьма сложной и не до конца проработанной областью математики. Решение задачи создания квантовых компьютеров стимулировало широкомасштабные исследования МКЗ. Однако на данном этапе В. В. Кузнецов поддерживает предложение Ю. И. Ожигова о целесообразности решения математических проблем МКЗ не с помощью известных в квантовой механике уравнений, а путем подбора подходящих алгоритмов [9].

С развитием такой науки, как квантовая геофизика, многие проблемы, связанные с физикой Земли, наконец, найдут реше-

ние. Квантовая геофизика – совсем не лженаука, как некоторые считают в наше время (у нас уже были «лженауки» – кибернетика, генетика и др. Где же сейчас их критики?).

Квантовая теория применима не только к микромиру, но и является единственной теорией, адекватно описывающей любые практически используемые человеком макроскопические свойства окружающего мира – электропроводность и теплопроводность материалов, сверхпроводимость, биологические и геофизические процессы и т. д.

Нас, в данном случае, интересуют вопросы передачи информации, которая при квантовом взаимодействии осуществляется практически мгновенно.

Основателями квантовой теории были гениальные физики М. Планк, А. Эйнштейн, Н. Тесла, а также Р. Оппенгеймер (создатель американской атомной бомбы) и советские ученые – академики П. Л. Капица, И. Е. Тамм, Л. Д. Ландау и др. Значительный вклад не только в развитие квантовой теории, но и в практическую реализацию ее достижений внес академик Р. Ф. Авраменко.

В результате проведения большого цикла теоретических и экспериментальных работ Р. Ф. Авраменко (во главе коллектива единомышленников – В. И. Николаевой, А. С. Пашины и др.) сформулировал концепцию существования естественного фона электронного Бозе-конденсата (ФЭБК) [10, 11]. Концепция состоит в фундаментальном утверждении, что помимо безмассового фона реликтового электромагнитного излучения фотонов, Вселенная заполнена полем конденсата электронов с отличной от нуля массой пар в сверхпроводниках. Наиболее эффективными и физически реализуемыми способами перераспределения концент-

рации электронов БК являются, прежде всего: гравитационное взаимодействие, магнитное (спиновое) взаимодействие, взаимодействие с конвекционными токами (потенциал Льенора-Вихерта). Идея существования массового поля электронного БК разрабатывалась также Оппенгеймером и Шиффом, в связи с чем открытый естественный фон электронного Бозе-конденсата получил в квантовой физике название «вещество Оппенгеймера-Шиффа-Авраменко» (ОША-вещество).

В квантовой теории (за малыми исключениями не сопоставимой с классической электродинамикой) понятие электрического тока включает в себя как конвекцию (перенос модуля плотности заряда), так и пространственно-временную модуляцию фазы ψ -волны, а также специфические члены спинового тока (ток проводимости).

Удобным физическим объектом, в котором наряду с протеканием тока электронной проводимости (бегущей ψ -волны электронов) могут независимо (в квазинейтральной среде) формироваться и протекать значительные токи конвекции, прежде всего положительные ионы (создающих в системе нелокальную электродвижущую силу), вовлекаемых в газодинамические процессы, являются плазма и плазмopodobные среды. Благодаря данному открытию созданы установки, получившие название экологически чистых конвертеров преобразования энергии окружающей среды (энергии Вселенной) в электрическую форму.

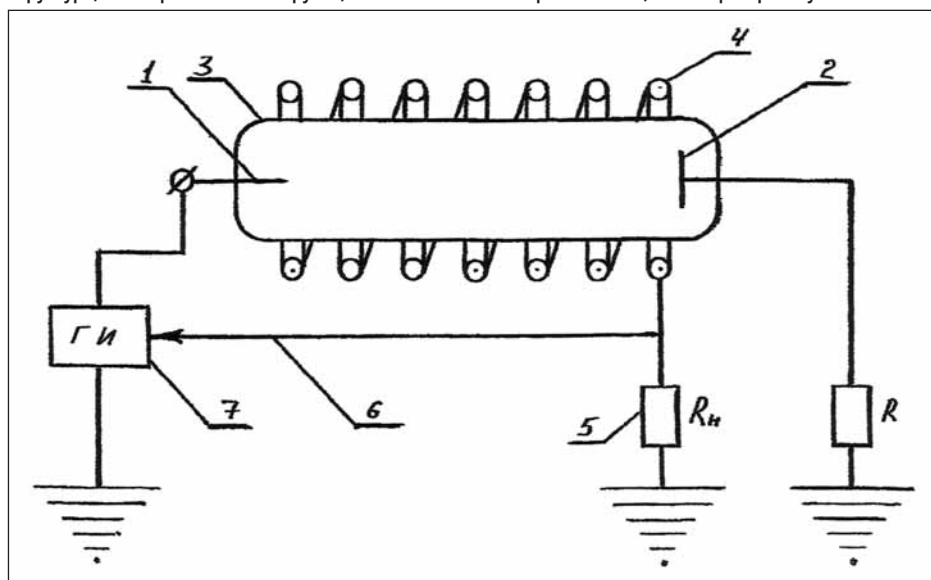
Вариант принципиальной схемы конвертера электрической энергии приводится на рис. 2.

Принцип действия следующий.

При подаче на катод 1 импульса напряжения отрицательной полярности в разрядном промежутке, заключенном в керамический объем, происходит формирование устойчивой электронной конфигурации с высокой плотностью зарядов – плазмоида, который двигаясь под влиянием электрического поля, наводит в замедляющей структуре 4 электрический ток. Для протекания значительного тока в замедляющей структуре в случае разомкнутой цепи, необходимо участие в процессе токопереноса дополнительных носителей заряда, которыми являются электроны ФЭБК. Замедляющая структура и сопротивление нагрузки преобразуют энергию ФЭБК в электрическую форму. При этом энергия, циркулирующая в силовой цепи, может быть на порядок выше энергии цепи управления. Для создания полностью автономной энергоустановки необходима организация положительной обратной связи 6 на генератор импульсов 7, т. е. использование части энергии выхода силовой цепи для регенерации плазмоида в цепи.

К настоящему моменту в США, Европе, России создано несколько десятков образцов таких конвертеров малой мощнос-

Рис. 2. Вариант принципиальной схемы конвертера электрической энергии: 1 – игольчатый автоэмиссионный катод; 2 – анод; 3 – керамический объем (как вариант – оксид алюминия); 4 – замедляющая структура; 5 – сопротивление нагрузки; 6 – положительная обратная связь; 7 – генератор импульсов



ти (5–10 кВт). А несколько установок, в том числе в России, способны работать в диапазоне промышленных мощностей. Конструкции конвертеров продолжают совершенствоваться. Так, в патенте США № 5.018.180 отношение энергии силовой цепи к энергии цепи управления (коэффициент преобразования) составляет около 100.

Р. Ф. Авраменко обосновал и предложил уточнить ряд важных положений квантовой теории, в том числе доказал, что ψ -волна де Бройля является материальной волной в реальном (а не конфигурационном) пространстве и характеризуется всеми необходимыми атрибутами реальной волны [12]. Необходимо отметить, что наиболее широко, в смысле инженерных приложений, фазовые соотношения волновых процессов используются в технике голографии. Источником когерентной электронной ψ -волны, как известно, являются любые устройства, обладающие свойством эмитировать в вакуум электроны с малым разбросом по скоростям (по импульсам) и имеющие малые физические размеры (точечный источник). В качестве объекта, голограмму которого необходимо зарегистрировать, могут использоваться различные кристаллические структуры.

Управление фазовым фронтом ψ -волны с помощью электрического и магнитного полей позволяет реализовать различные схемы записи голограмм, известные на сегодня, применительно к оптическому диапазону.

В связи с прогрессом теории и техники радиолокационных измерений, разработана общая статистическая теория, принципы и ограничения измерений с использованием волновых процессов. Установлено, что в реальных ситуациях, когда волновые процессы (например, электромагнитное поле) могут иметь определенную и достаточно сложную пространственно-временную модуляцию, потенциальные возможности измерений координат объектов определяются обобщенными принципами неопределенности. Вместе с тем, развитие теории широкополосных радиолокационных сигналов показало несостоятельность принципа неопределенностей Гейзенберга. В работе Вудворда [13] было показано, что ширина спектра сигнала W , а не его протяженность T является параметром, определяющим потенциальную точность измерений, в то время как независимо от величины W точность измерения доплеровской частоты определяется протяженностью сигнала T . Современная локационная техника (радары, сонары, системы связи и т. п.) развивается с использованием широкополосных сигналов с $TW \gg 1$ – частотно-модулированных (ЧМ), фазомодулированных (ФМ) и др.

В механизмах, составляющих основу современной техники, – электромоторах, генераторах, трансформаторах, системах связи, радиолокации и др. – наблюдаемые эффекты

существенным образом определяются геометрией материальных тел (в первую очередь проводников), используемых в этих установках. В простейшем случае электромагнитной индукции измеряется ЭДС и ток в замкнутом контуре в целом, т. е. интегральные характеристики процесса при данной геометрической форме материальных тел, а не та ЭДС и напряженность поля, которая должна была бы иметь место в каждой данной точке (малой области рассматриваемого контура).

Применяемые обычно в технике датчики, по существу, измеряют вторичное поле E или вызываемый им ток, создаваемый за счет разделения зарядов в проводнике датчика. Для измерения локальных характеристик поля необходимо использование датчиков, не нарушающих существенно ожидаемую структуру и количественную величину поля в окрестностях датчика [14].

В 80–90-х гг. прошлого века в США теоретическое изучение электродинамических эффектов во вращающейся системе координат привело к выводам о необходимости пересмотра ряда традиционных соотношений. Экспериментальные работы в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ, СССР, г. Дубна), поставленные для проверки электродинамики Максвелла, показали появление электрического поля снаружи хорошо экранированного объема при изменении тока, протекающего по сверхпроводящему кольцу внутри этого объема. Это открывает практический путь к созданию систем передачи информации через любые экраны (огромные слои металла, земли, воды и др.) [15]. К такому же выводу пришел и Р. Ф. Авраменко [16].

Как видно, значительная часть квантовых аспектов имеет прямое или косвенное отношение к горному делу и может быть к нему адаптирована.

В результате всего изложенного возникает закономерный вопрос: почему же такая чудо-наука, как квантовая физика, так недостаточно развивается в плане практической реализации ее достижений?

Частично ответ на этот вопрос дал безвременно ушедший от нас академик Римлий Федорович Авраменко (1932–1999): «Парадоксальность сложившейся в физике ситуации связана, по-видимому, прежде всего с отсутствием широкого информационного обмена между группами исследователей, досконально владеющими частными вопросами – классической электродинамикой, квантовой теорией, электродинамикой сверхпроводимости, радиофизикой и т.д.» [16].

В заключение приходит на ум известная цитата К. Маркса и Ф. Энгельса, перефразируя которую можно сказать: «Призрак бродит по подземному строительству, призрак квантовой физики».

Так давайте же, уважаемые коллеги, не будем отталкивать этот «призрак», а, наоборот, там, где это возможно, поможем ему материализоваться.

Ключевые слова

Квантовая физика, конвертер электрической энергии, георадиолокация.

Quantum physic, electrical energy converter, georadiolocation.

Список литературы

1. Свод правил СП 120.13330.2012 «Метрополитены», актуализированная редакция СНиП 32-02-2003.
2. Правила безопасности при строительстве подземных сооружений ПБ 03-428-02.
3. Ю. Н. Мальшиев, Б. А. Картозия, Б. И. Федунец, М. Н. Шушлик и др., «Шахтное и подземное строительство», М., 2003, изд. МГТУ.
4. В. П. Абрамчук, С. Н. Власов, В. М. Мостков, «Подземные сооружения», М., 2005, ТА Инжиниринг.
5. Е. М. Пашкин, С. В. Мазеин, Е. Б. Рябов, «Оптимизация геологических изысканий для проектирования метрополитена в Москве», М., 2015, «Метро и тоннели», № 4.
6. Е. М. Пашкин, С. В. Мазеин, «О методах диагностики неоднородных инженерно-геологических условий при щитовой проходке тоннелей метрополитена», М., 2017, «Метро и тоннели», № 1-2.
7. В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик, В. В. Костенко, Ф. Г. Меденков, А. К. Пак, «О необходимости совершенствования физических основ геомеханики», М., «Метро и тоннели» № 3–4, 2017.
8. В. В. Адушкин, А. А. Стивак, «Подземные взрывы», М., 2007, «Наука».
9. В. В. Кузнецов, «Исследования по физике Земли», М., 2013, <http://vukuz.ru/>, 2013.
10. «О существовании квантово-механической энергии фона. Экспериментальные данные», Научно-технический отчет, М., НИИРП, 1984.
11. Р. Ф. Авраменко, В. И. Николаева, «Квантовая энергия электронного Бозе-конденсата в окружающей среде», М., 1991, «Химия».
12. Р. Ф. Авраменко, В. И. Николаева, В. Н. Пушкин, «К вопросу об информационном взаимодействии изолированных систем без передачи энергии», М., 1980, «Вопросы угольной промышленности».
13. Ф. М. Вудворд, «Теория вероятностей и теория информации с применением к радиолокации», М., Издательство «Сов. радио», 1955.
14. Р. Ф. Авраменко, Л. П. Грачев, В. И. Николаева, «Проблемы современной электродинамики и биоэнергетики», М., ЦНИИЭНТИ Минуглепрома СССР, 1976.
15. И. Н. Гончаров, «Установка для проверки эффекта возникновения зарядного эквивалента», г. Дубна, ОИЯИ, 1972.
16. Р. Ф. Авраменко, В. И. Николаева, А. С. Пащина, «Будущее открывается квантовым ключом», М., «Химия», 2000.

Для связи с авторами

Мутушев Дмитрий Михайлович
dmmm1@yandex.ru
Мутушев Михаил Адольфович
mmutushev@bk.ru



МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСАДОК ГРУНТА ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ ПРИ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ

GRAPHOANALYTIC METHOD OF DETERMINING GROUND SUBSIDENCE IN SHIELD TUNNELING

Е. М. Науменко, начальник группы отдела ПОМ, ОАО «Минскметропроект»

E. M. Naumenko, head of the «Works organization and mechanization designing» department group, Minskmetroproekt JSC

Разработана методика определения графоаналитическим способом просадок грунта при щитовой проходке тоннелей, без применения компьютерных программ, с выявлением рисков и причин образования возможных просадок грунта.

A method for determining the ground subsidence during the shield tunneling by applying the graphoanalytical method is developed, which does not require the use of computer software, including the identification of risks and the reasons for the formation of possible ground subsidence.

Введение

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

При написании данной методики использовались, в том числе, положения из ТКП 45-3.03-115-2008 «Метрополитены. Строительные нормы проектирования», СТБ 943-2007 «Грунты. Классификация», ТКП 45-5.01-237-2011 «Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства» (ссылки см. далее по тексту).

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

Риски образования возможных просадок грунта

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

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

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

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

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

1. Между грунтом и рабочим органом щита;
2. Между грунтом и боковой оболочкой щита;
3. Между грунтом и выходящим из щита сооруженным кольцом обделки тоннеля.

Рассмотрим эти три участка.

1-й участок. Разработка грунта выполняется рабочим органом (роторная фрезерная головка) механизированного щита. При разработке грунта в забой подается пенообразующий раствор, пена перемешивается с грунтом и заполняет призабойную зону, образуя грунтопригруз забоя. Пенообразующий раствор подается через форсунки. Фор-

сунки на рабочем органе расположены на его лицевой части. Грунтопригруз в забое создает уравнивающее давление на грунт перед рабочим органом и удерживает этот грунт от обрушения. Возможные зазоры и пустоты между грунтом и рабочим органом в призабойной зоне заполняются пеной, перемешанной с грунтом. Процессы подачи пенообразующего раствора и создание грунтопригруза механизированы и контролируются электроникой. В связи с этим принимаем, что все зазоры и пустоты между грунтом и рабочим органом надежно заполнены вспененным грунтопригрузом и практически исключается образование пустот, которые могут привести к просадкам грунта.

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

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

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

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

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

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

Данный расчет выполнен из условия, что все работы по проходке ТПМК ведутся без нарушений технологических процессов проходки, в соответствии с «Регламентом

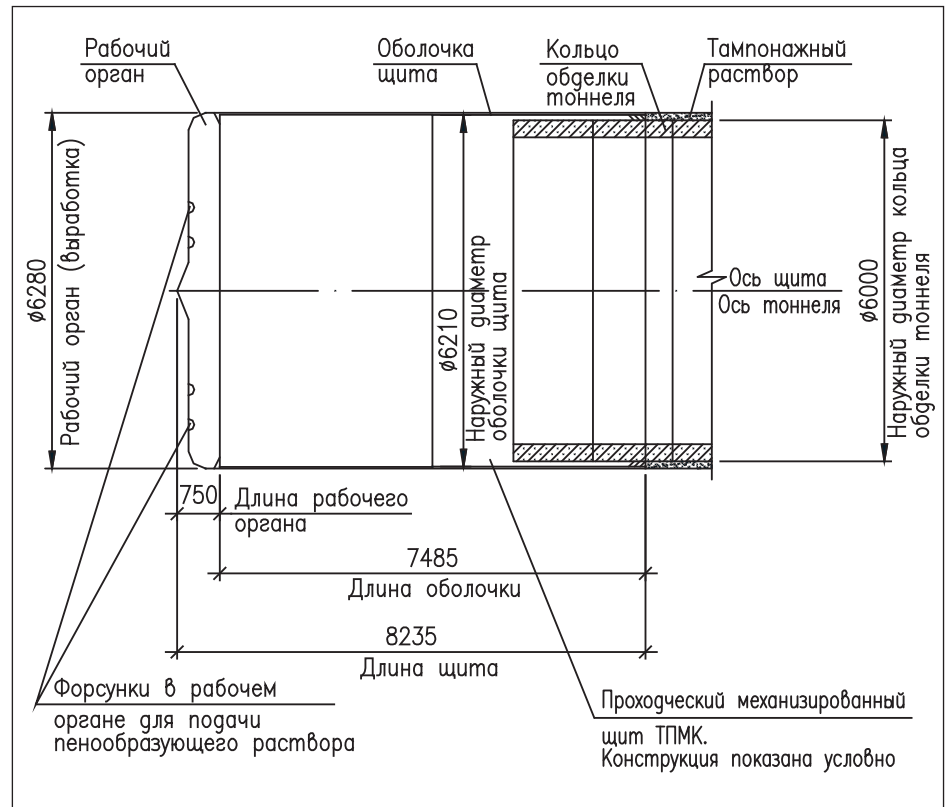


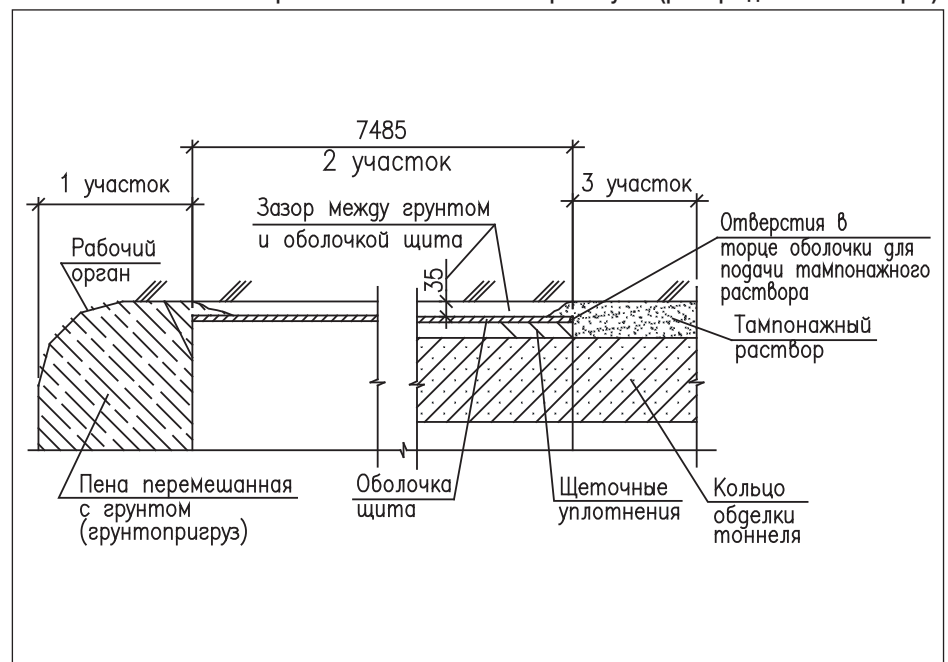
Рис. 1. Проходческий механизированный щит ТПМК (размеры даны в миллиметрах)

на сооружение перегонных тоннелей». В связи с этим случаи нарушения технологических процессов проходки (например, незаполнение тампонажным раствором зазора между грунтом и обделкой), а также аварийные ситуации (например, обрушение сооруженной обделки, аварийные вывалы грунта в призабойной области), из-за которых могут возникнуть дополнительные просадки и обрушения грунта, в данном расчете не рассматриваются.

При проходке ТПМК механизированный щит постепенно передвигается вперед, при

этом каждый из трех участков перемещается на место предыдущего. Возможный незаполненный зазор 2-го участка между грунтом и оболочкой щита через 7,485 п. м проходки (длина оболочки) надежно заполнится тампонажным раствором 3-го участка. Данное время проходки ТПМК 7,485 п. м тоннеля составит ориентировочно 12,5 ч (с учетом скорости проходки). То есть время, за которое могут начать возникать просадки грунта из-за незаполненного зазора имеет временной характер и составит около 12,5 ч. В связи с тем, что проходка происходит в грунтах (на-

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



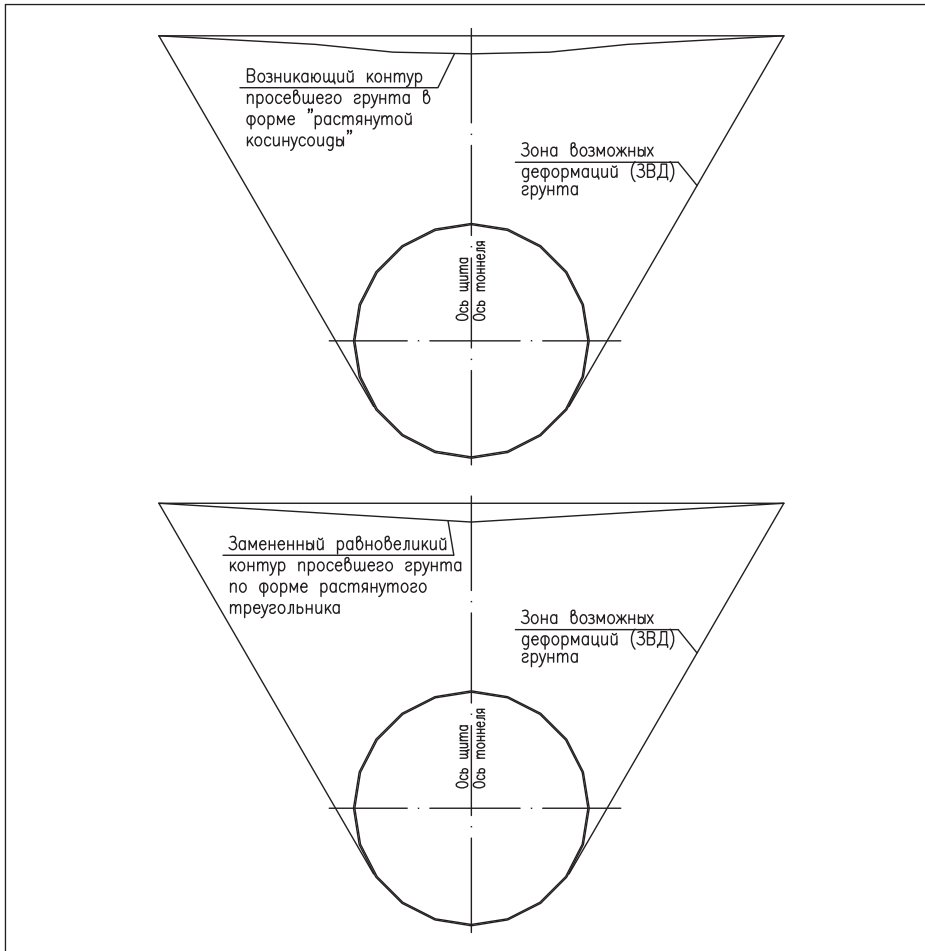
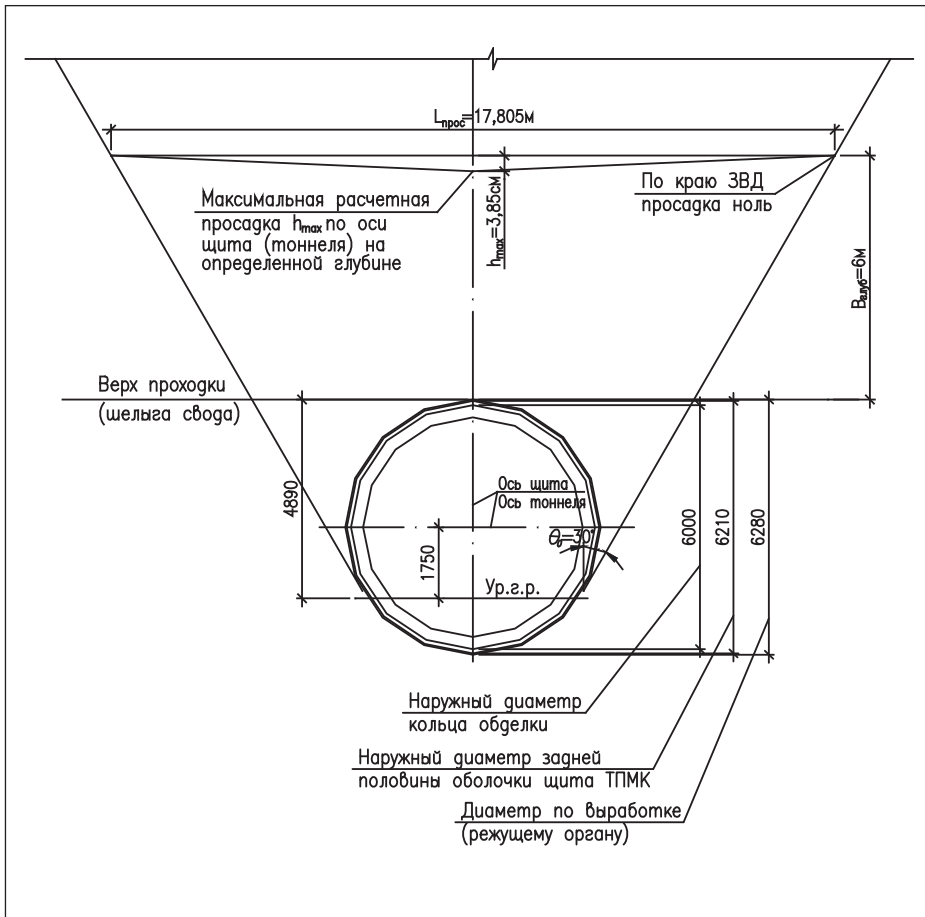


Рис. 3. Заменённый контур просевшего грунта

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



сыпные, песчаные, супесчаные, суглинистые), в которых принимается отсутствие сводообразования, считаем, что обрушение грунта в зазоре может произойти сразу, и временным характером незаполнения зазора пренебрегаем. В соответствии с п. 10.4.8 [1] сводообразование возникает в скальных и полускальных грунтах, в нескальных грунтах оно не возникает. Классификация скальных и нескальных грунтов в соответствии с табл. 5.1 и 5.2 [2].

Расчет возможных просадок грунта

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

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

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

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

где φ , град – угол внутреннего трения грунта.

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

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

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

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

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

6,21, м – наружный диаметр оболочки щита. Так как сечение по незаполненному зазору круглое, а обрушение грунта происходит по направлению сверху вниз, то обрушение грунта незаполненного зазора будет происходить на участке от горизонтальной оси сечения круглого зазора до его верха. Соответственно на участке от горизонтальной оси сечения круглого зазора до его низа обрушения грунта происходить не будет. В связи с этим расчетный объем возможного обрушившегося грунта $V_{гр}$ в незаполненный зазор на 1 п. м проходки составит половину от всего объема возможного зазора V_3 :

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

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

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

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

$$V_{прос} = \frac{L_{прос}}{2} \times h_{max} \times 1,$$

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

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

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

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

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

- для глубины 6 м $L_{прос} = 17,805$ м, $h_{max} = 0,686/17,805 = 0,0385$ м = 3,85 см.

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

Для других глубин просадка определяется аналогично.

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

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

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

Для определения возможных просадок зданий, сооружений и инженерных сетей, находящихся в пределах ЗВД от проходки ТПМК, необходимо определить глубину низа

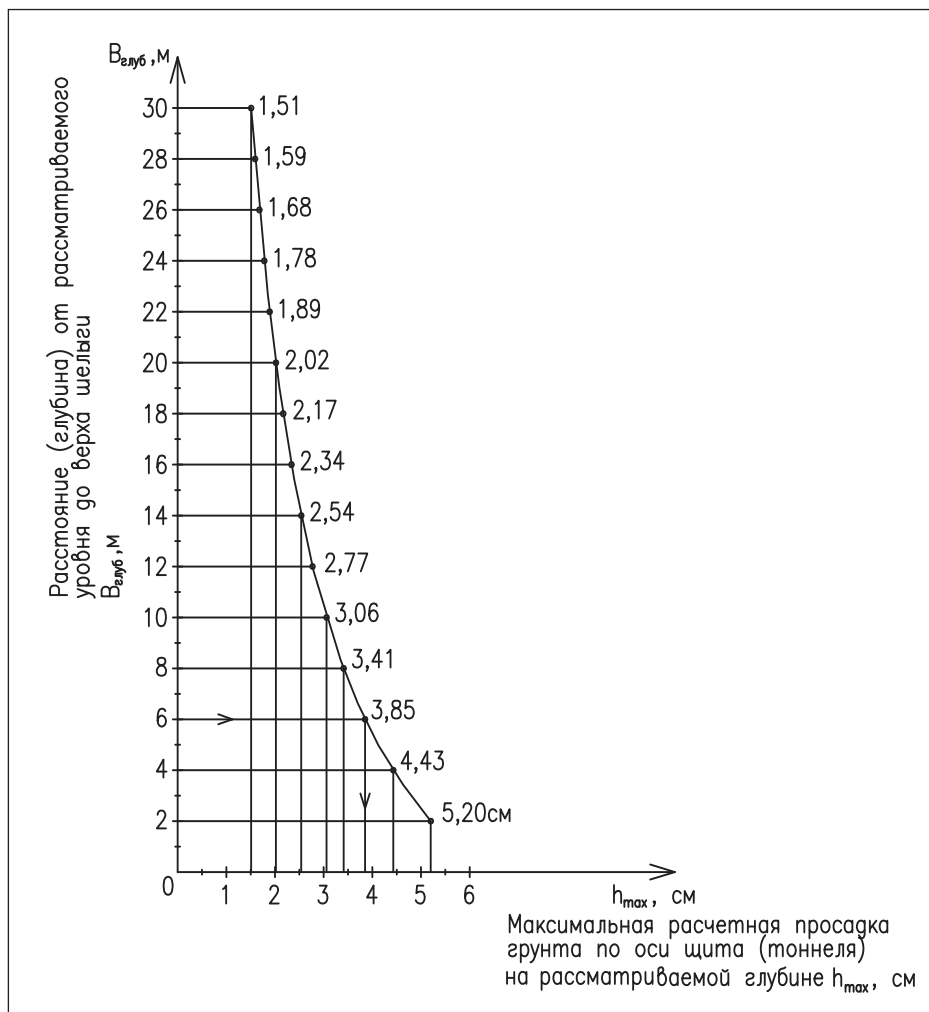


Рис. 5. Ориентировочный график возможных расчётных просадок грунта на различных глубинах по оси тоннеля

фундамента зданий, сооружений или низ залегания инженерных сетей. Затем для этой глубины определить просадку грунта по выше описанной методике. Определенная таким образом просадка грунта и будет являться расчетной возможной просадкой здания, сооружения и инженерной сети.

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

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

Заключение

Таким образом, данная методика расчета позволяет простым способом (без применения компьютерных программ) определять величины просадок грунта на различных глубинах (в местах расположения оснований инженерных сооружений) при щитовой проходке тоннелей. Суть данной методики можно применять и для других случаев определения просадок грунта.

Ключевые слова

Щитовая проходка тоннелей, зазоры, зона возможных деформаций грунта, просадка грунта, методика расчета.

Shield tunneling, gaps, zone of possible ground deformations, ground subsidence, calculation methods.

Список литературы

1. ТКП 45-3.03-115-2008. Метрополитены. Строительные нормы проектирования.
2. СТБ 943-2007. Грунты. Классификация.
3. ТКП 45-5.01-237-2011. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Подпорные стены и крепления котлованов. Правила проектирования и устройства.

Для связи с автором

Науменко Евгений Михайлович
Naumenko@metropr.by



ТПМК ДЛЯ ГРУНТОВ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ – СОЧЕТАНИЕ ДВУХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОХОДКИ В ОДНОМ КОМПЛЕКСЕ

VARIABLE DENSITY TBM – COMBINING TWO SOFT GROUND TBM TECHNOLOGIES

Карин Бэпплер, глава департамента «Геотехника и консалтинг транспортных тоннелей», Херренкнехт АГ, Германия
Фредерик Баттистони, руководитель департамента транспортных тоннелей, Херренкнехт АГ, Германия
Вернер Бургер, руководитель департамента проектирования транспортных тоннелей, Херренкнехт АГ, Германия
Karin Bäßler, Head of Geotechnics and Consulting Traffic Tunnelling, Herrenknecht AG, Germany
Frédéric Battistoni, Division Manager Traffic Tunnelling, Herrenknecht AG, Germany
Werner Burger, Manager Design Division Traffic Tunnelling, Herrenknecht AG, Germany

Строительство тоннелей с привязкой к различным грунтовым условиям становится распространенной проблемой для многих подземных проектов. Условия по маршруту тоннеля часто меняются от устойчивых горных пород до мягких, водонасыщенных грунтов. Была проведена оптимизация стандартных технологий для тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), позволяющая им работать в широком диапазоне геологических условий.

Мультирежимные ТПМК имеют возможность адаптации технологии разработки грунта к реальным грунтовым условиям в тоннеле, применяя различные режимы работы. К примеру, условия автодорожного тоннеля Сокатоп в Париже требовали использования машины, конструкция которой могла в тоннеле обеспечить переход от режима грунтопригруза забоя (EPB) к режиму гидропригруза (Mix). Еще одним предварительным этапом в разработке ТПМК для грунтов переменной плотности и водонасыщенности стала конструкция машины для тоннеля порта Майями. Машина имела возможность перехода от режима EPB к режиму гидравлической выемки грунта при полном контроле давления в груди забоя.

ТПМК для грунтов переменной плотности являются новым поколением мультирежимных машин для мягких пород с применением ультрасовременных технологий. Без проведения значительной механической модификации машина сочетает в себе две основных технологии для мягких грунтов, обеспечивая непрерывное регулирование давления в груди забоя.

Tunnel alignments with variable ground conditions have become commonplace challenges for many underground projects. The conditions along the course of the tunnel often range from stable rock faces to soft, water bearing soils. Standard technologies for shielded TBM's (Tunnel Boring Machine) have been optimized to handle a wider range of specific ground conditions. Technical and commercial limits are often reached when variable ground conditions become too large.

Multi-mode TBMs incorporate the possibility to adapt the excavation technology in the tunnel to suit the actual ground conditions and thus to operate the TBM in different modes. The particular project conditions for the Socatop road tunnel in Paris demanded for example a machine design that could be changed from EPB to slurry mode in the tunnel. Another preliminary step in the development of the Variable Density TBMs was the machine design for the Miami Port Tunnel project. The machine could switch from EPB mode to hydraulic mucking under full control of the face pressure.

The so-called Variable Density TBM is a new generation of the multi-mode soft ground machine with state-of-the-art technology. Without major mechanical modification, the machine combines the two basic closed mode soft ground TBM technologies, by maintaining permanent control of face pressure.

Потребность сегодняшних проектов строительства тоннелей заключается в завершении строительства подземного сооружения при условии обеспечения безопасности, в срок и в рамках планируемых финансовых средств. Поскольку стои-

мостные и временные превышения приводят к ослаблению доверия со стороны клиентов и органов власти, и, в конечном счете, к ослаблению доверия и формированию негативного отношения к крупномасштабным проектам со стороны обще-

ственности. Именно таким образом гибкие, ориентированные на будущее решения, такие как технология механизированного сооружения тоннелей, приобретают все большее значение, позволяя достигать запланированного качества и функцио-

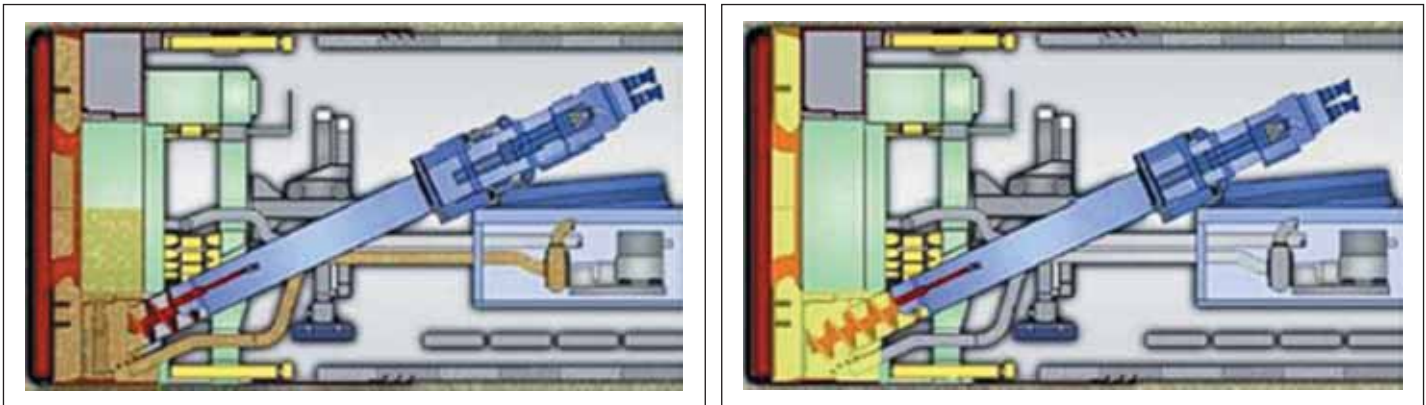


Рис. 1. Мультирежимный ТПМК для тоннеля Сокатоп, режимы с гидро- и грунтопригрузом

нальности проекта в установленные сроки и в рамках бюджета.

Трассы тоннелей все чаще проектируются в разнородных геологических условиях с участками, которые могут включать скалистые, рыхлые, водонасыщенные грунты и/или смешанные типы грунтов в плоскости забоя. Такие условия требуют применения специально спроектированной конструкции машин, приспособленной для безопасной и эффективной прокладки тоннелей, без необходимости больших временных затрат на адаптацию оборудования к определенным преобладающим грунтовым условиям.

В этой статье освещается новое поколение машин для мягких грунтов, сочетающих в одной и той же машине две основные технологии механизированной прокладки тоннелей. Конструкция нового поколения мультирежимной машины для мягких грунтов позволяет беспрепятственно переключаться между различными режимами – EPB (с грунтопригрузом) и Mix (с гидропригрузом) в тоннеле, обеспечивая при этом непрерывное и полноценное регулирование давления в груди забоя, без необходимости доступа в призабойное пространство. Это новое поколение машин называется ТПМК для грунтов переменной плотности и обеспечивает как максимальную безопасность, так и гибкость выбора давления пригруза и выдачи разработанного грунта.

Этапы разработки нового поколения мультирежимных ТПМК для мягких грунтов

Первый мультирежимный ТПМК был спроектирован в 1980-х годах для проекта тоннеля, который строился в изменчивых грунтовых условиях, включающих стабильные и мягкие породы, смешанные и водонасыщенные грунты в груди забоя. С того времени технология непрерывно дорабатывалась и достигла высокой степени зрелости в современной конструкции машин, ТПМК для грунтов переменной плотности [1].

В 2000 г. мультирежимный ТПМК был успешно применен в проекте строительства автодорожного тоннеля Сокатоп в Париже. Проект включал строительство

Западного тоннеля, который стал заключительным звеном 80-километровой кольцевой автодороги A86 вокруг Большого Парижа. Тоннель был построен с целью разгрузки транспортных потоков и улучшения дорожного сообщения с предместьями Парижа. Мультирежимный ТПМК, который был использован для строительства этого тоннеля, имел диаметр 11,56 м и являлся на то время первым инновационным тоннелепроходческим комплексом, имевшим возможность работы в режимах с грунто- (EPB) и гидропригрузом (Mix).

Тоннель был построен тремя крупнейшими в сфере транспортного строительства компаниями Франции «Винси» (Vinci), «Эйфаж Констракшн» (Eiffage Construction) и «Колас» (Colas). Разработка подобной машины, способной полностью изменять режим работы в тоннеле от режима с грунтопригрузом до режима с гидротранспортом, была обусловлена особыми условиями проекта Сокатоп в Париже. Тоннель имеет длину 10 км, приблизительно 60 % это грунты, пригодные для использования проходческого щита с грунтопригрузом (EPB). Оставшиеся 40 % составляли оптимальные условия для работы ТПМК с поддержанием давления в груди забоя за счет гидропригруза.

Проходческий щит с грунто- и гидропригрузом работает в условиях заполненной призабойной камеры и регулируемого поддержания давления в груди забоя. Основным отличием двух рабочих режимов являются характеристики заполнения призабойной камеры, такие как вязкость, сдвигающее напряжение и плотность грунта, а также тип камеры и способ управления давлением в груди забоя. При использовании щита с гидропригрузом давление в груди забоя регулируется за счет подаваемого сжатого воздуха, образующего воздушный пузырь, который в большинстве случаев обеспечивается за счет разделения призабойной камеры на две секции посредством внутренней стенки. При использовании щита с грунтопригрузом давление в груди забоя регулируется за счет скорости продвижения ТПМК и объема разработанного грунта, удаляемого посредством шнекового конвейера.

Конструкция ротора (режущего органа) и забойной камеры позволяет беспрепятственно переходить от одного рабочего режима к другому. Основные механические различия заключаются в конструкции систем подачи и транспортировки разработанного грунта. Щиты с гидропригрузом используют закрытый контур, по которому разработанный грунт под давлением подается к установке на поверхности по его отделению от бентонитовой суспензии. Щиты с грунтопригрузом для контролируемого удаления разработанного грунта из призабойной камеры используют шнековые конвейеры и открытые тоннельные транспортные системы с вагонетками или конвейерами.

Значительное количество свободного пространства, обусловленного большим диаметром ТПМК, позволило с небольшими функциональными компромиссами обеспечить параллельное расположение обеих систем удаления разработанного грунта в нижней части призабойной камеры. Если по преобладающим геологическим условиям (глыбы, валуны или крупные камни) требовалось использование режима с гидротранспортом, находящаяся в парковочном положении щечковая дробилка выдвигалась в положение перед всасывающей решеткой и включалась в работу. Изменение режима работы требовало проведения дополнительных механических операций и ручной наладки. При диаметре ТПМК менее 8 м данное переключение становится более трудозатратным.

Проект Сокатоп сравнительно долгое время оставался единственным возможным решением, он убедительно продемонстрировал, что при определенных проектных условиях комплексное сочетание различных технологий становится целесообразным.

В мае 2013 г. компания «Буйгуез Сивил Уоркс Флорида» (Bouygues Civil Works Florida) успешно осуществила сооружение автотранспортного тоннеля в порту Майя-ми. Проект включал строительство двух тоннелей длиной 1,2 км, которые непосредственно пересекали судовой канал и терминал для круизных лайнеров, имея оконечные изгибы для связи с суще-

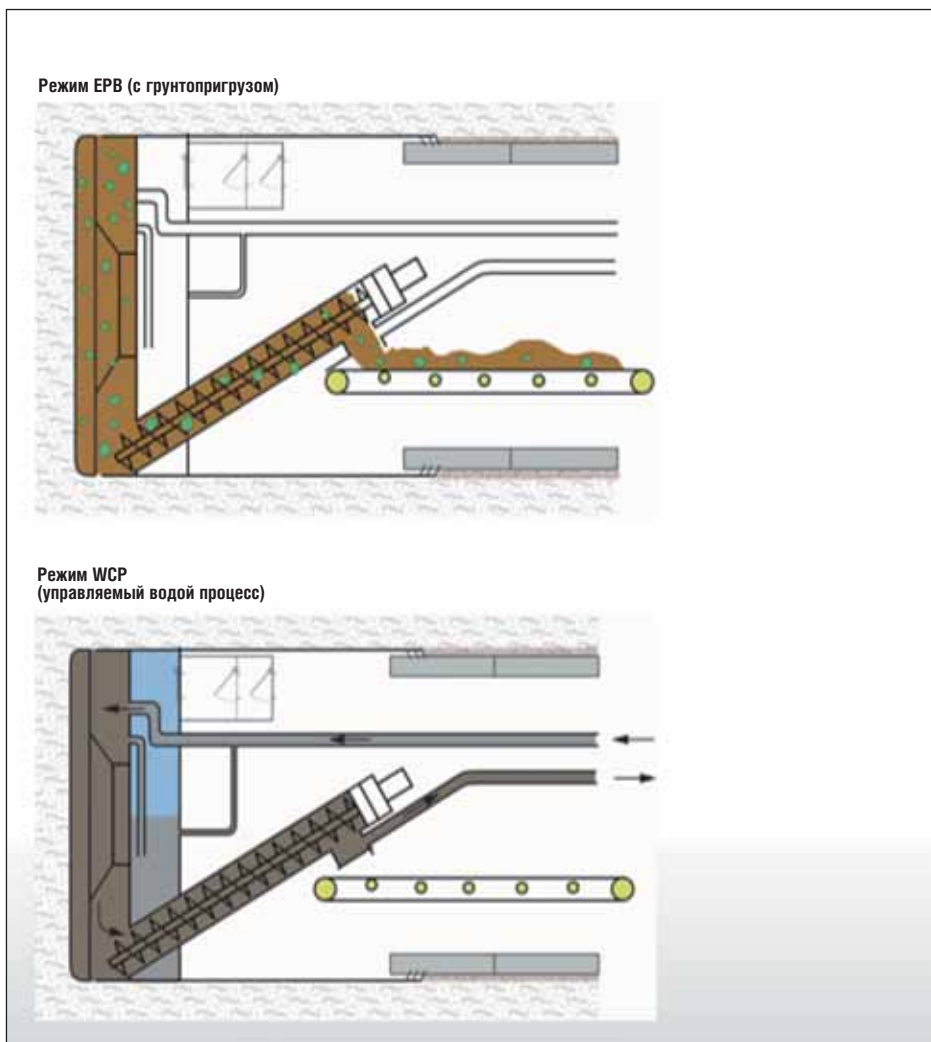


Рис. 2. Принцип функционирования режима WSP ТПМК, использованного в порту Майями

ствующими автодорогами на островах Уотсон (Watson) и Додж (Dodge). В тоннелях предусмотрены две полосы движения, бордюры, пешеходные дорожки, вентиляция и дополнительные средства обеспечения безопасности.

Прокладка тоннеля для порта Майями в заливе Бискейн (Biscayne) была реализована в изменчивых условиях пористых грунтов, включающих главным образом песок и известняк с хлористыми грунтовыми водами. По причине высокой водопроницаемости грунтов и экологических проблем, связанных с возможным попаданием разработанного грунта в охранную зону акватории залива Бискейн, для выполнения работ по прокладке тоннелей была выбрана машина EPBM диаметром 12,87 м производства компании «Херренкнехт». ТПМК мог быть адаптирован к изменчивым грунтовым условиям высокой локальной водопроницаемости, при необходимости обеспечивая контроль воды и извлечение скальных пород в груди забоя. Машина могла использоваться в двух режимах, с грунтопригрузом (EPB) – с разгрузкой материала посредством шнекового конвейера и работающей в непрерывном режиме системы транспортировки разработанного грунта, а также режиме

процесса управления водой (WCP) – с гидротранспортом, когда машина пересекала участок под каналом и входила в породы с высокой водопроницаемостью.

Режим WCP исключает разгрузочный затвор, и разработанный грунт со шнекового конвейера через дробилку подается непосредственно в транспортный трубопровод для перекачки в сепарационную установку, расположенную на поверхности. Система не включает в себя дробилку, располагаемую в призабойной камере, как это реализовано в стандартной машине с гидротранспортом. Конфигурация режущих инструментов ротора спроектирована с целью ограничения отдельных кусков, которые могут попасть в призабойную камеру, до размера, пригодного для установленного шнекового конвейера. Режим WCP, разработанный для машины EPBM при строительстве тоннелей в порту Майями, является упрощенной системой или предварительным этапом разработки ТПМК для грунтов переменной плотности, в котором связка конусная дробилка – бентонитовый ящик (Slurryfier-Box) разработана в комбинации с выходом шнекового конвейера. Slurryfier-Box – специальная разработка для расширения сферы применения установок с грунтопригрузом

забоя. Сброс шнекового конвейера соединяется с транспортной гидравлической магистралью для обеспечения гидротратки разработанного материала. Для включения в работу системы грунтопригруза забоя комбинация конусная дробилка – Slurryfier-Box должна быть установлена в парковочную позицию.

ТПМК для грунтов переменной плотности – новое поколение мультирежимных ТПМК для мягких грунтов

При реализации современных проектов все чаще встречаются условия, когда скалистые, рыхлые и смешанные грунты в плоскости забоя сменяют друг друга, причем работы проводятся ниже уровня грунтовых вод. Такая ситуация привела к разработке ТПМК малого и среднего диаметров, позволяющих осуществить переход между режимами поддержания давления в груди забоя за счет гидро- и грунтопригруза, при этом обеспечивая полноценный контроль давления в груди забоя во время их изменения. Это новое поколение мультирежимных тоннелепроходческих комплексов – ТПМК для грунтов переменной плотности – сочетают в себе индивидуальные преимущества каждой системы в одной машине. При разработке ТПМК для грунтов переменной плотности фокус внимания был обращен на получение возможности перехода между рабочими режимами в тоннеле, без необходимости проведения механических операций в призабойной камере. ТПМК для грунтов переменной плотности могут эксплуатироваться как классические ТПМК с гидротранспортом и системой воздушного пузыря для регулирования давления в груди забоя, так и ТПМК в полноценном режиме с грунтопригрузом (EPB). Переход между режимами осуществляется постепенно, при обеспечении полноценного контроля давления в груди забоя и без необходимости доступа в призабойную камеру.

Всестороннее оснащение ТПМК для грунтов переменной плотности потребовало бы наличие в тоннеле двух систем транспортировки разработанного грунта. Для классического режима Mix гидропригруза (воздушный пузырь для регулирования давления в груди забоя) необходим закрытый шламовый контур, а для работы в полноценном режиме EPB (сухая система) требуются вагонетки или непрерывно работающий конвейер.

В зависимости от конкретных условий проекта одна из двух систем может быть выбрана в качестве первичной системы, обладающей высокой производительностью, а другая – в качестве вспомогательной, с меньшей производительностью. Во всех рабочих режимах ТПМК для грунтов переменной плотности разработанный грунт удаляется из призабойной камеры посредством шнекового конвейера. Дальнейший процесс транспортировки разработанного грунта

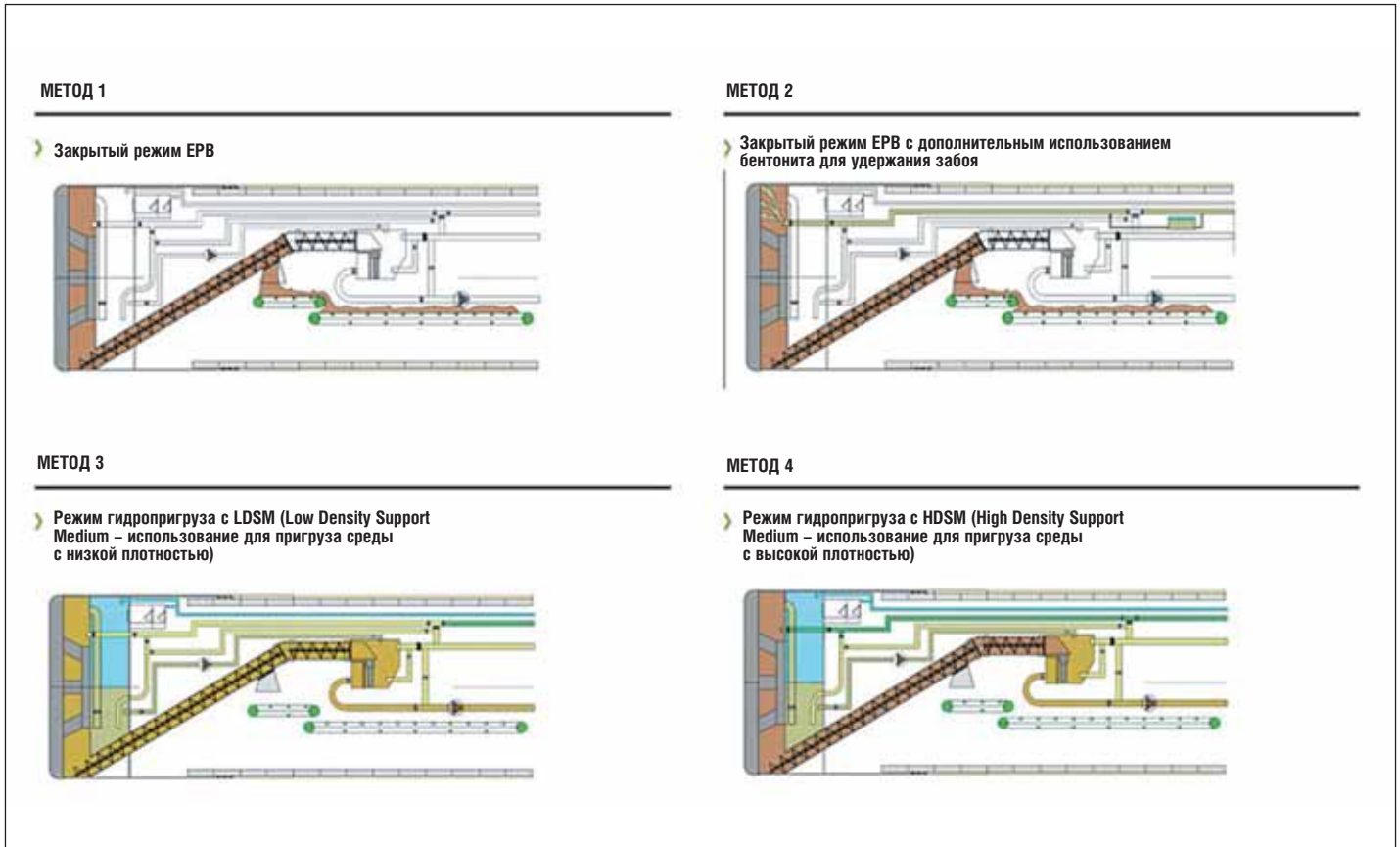


Рис. 3. ТПМК для грунтов переменной плотности, различные режимы проходки тоннеля для оптимальной адаптируемости в сложных мягких грунтах

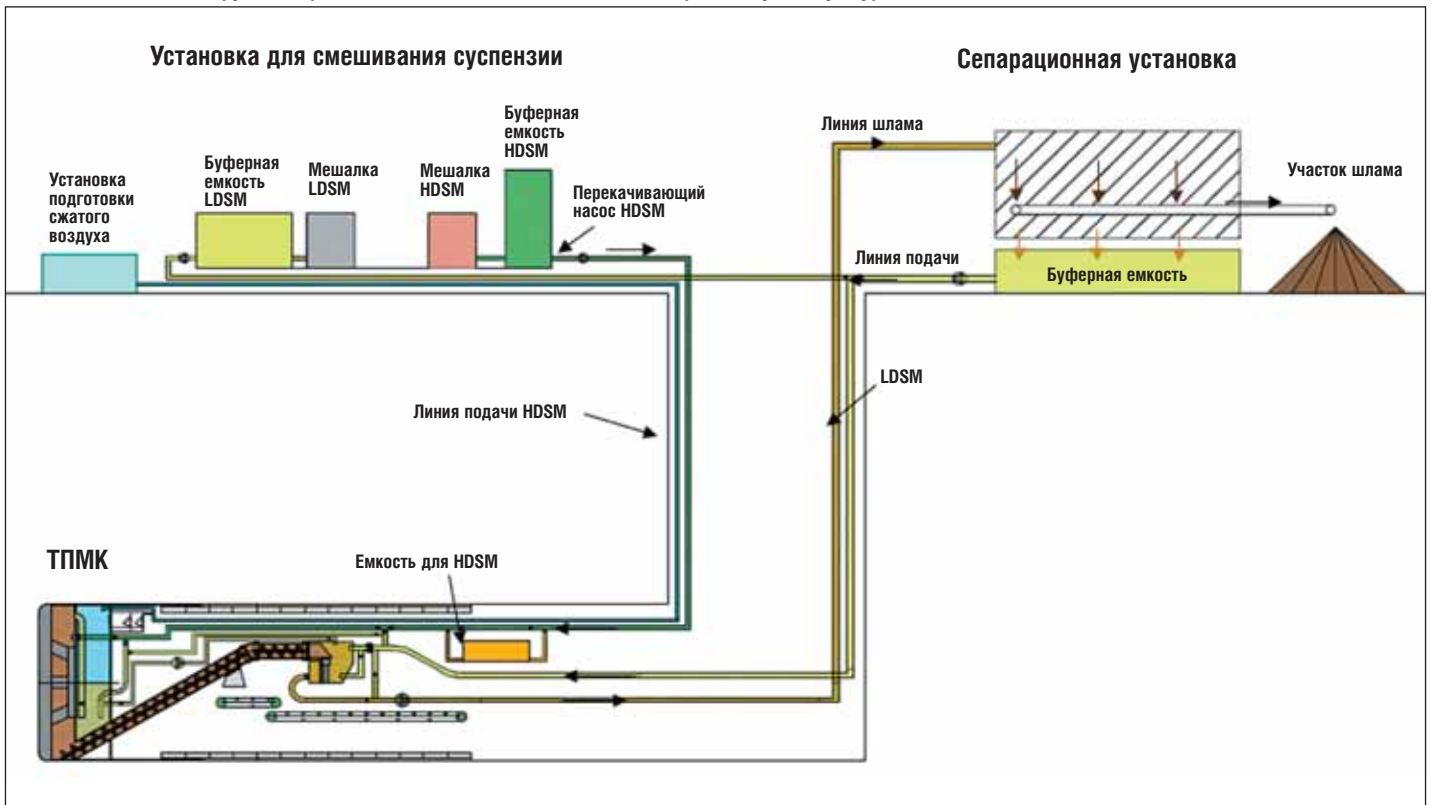
зависит от рабочего режима и выбора, основанного на логистике транспортировки материала. Система транспортировки может видоизменяться от гидротранспортировки по трубам до ленточного конвейера или транспортировки при помощи вагонеток.

Первое использование ТПМК для грунтов переменной плотности диаметром 6,62 м для строительства линии 1 метрополитена, Кланг Вали, Куала-Лумпур

Первый ТПМК для грунтов переменной плотности был использован при строи-

тельстве 9,5 км подземного участка первой линии метрополитена Кланг Вали в Большом Куала-Лумпур. Соседняя линия метрополитена должна была функционировать во время проведения строительных работ под землей, поскольку по причине стес-

Рис. 4. Технология для грунтов переменной плотности, использованная в проекте Куала-Лумпур



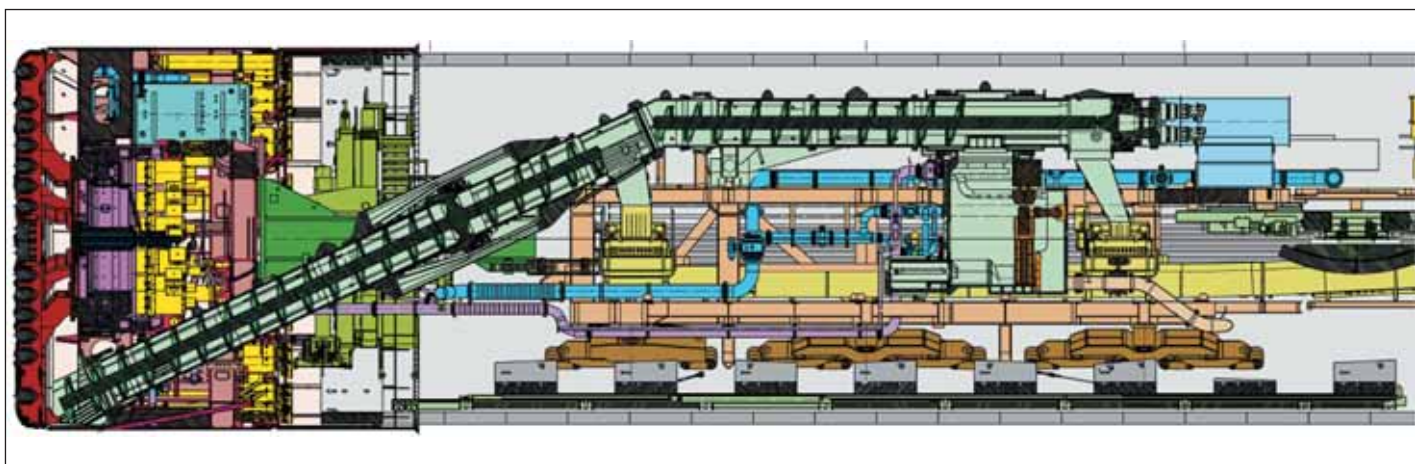


Рис. 5. ТПМК для грунтов переменной плотности для метрополитена Лима Лайн 2/4

ненного пространства городской зоны две параллельные линии располагаются одна над другой.

Тоннель был построен на холме Хилл, в условиях пласта известняка Куала-Лумпур. Структура этого пласта является сложной по причине высоко эрратических валунов карстового массива в сочетании с эродированными известняковыми породами под верхним слоем грунта. Для участка длиной 8,6 км по заказу компании «Эм Эм Си-Гамуда КВМРТ» (MMC-Gamuda KVMRT) было поставлено шесть тоннелепроходческих комплексов для грунтов переменной плотности диаметром 6,62 м. Оставшийся участок длиной около 1 км разрабатывался с использованием щита EPB. Машины для грунтов переменной плотности были специально адаптированы к данным подземным условиям с потенциальным риском внезапного столкновения с кавернами. При использовании гидравлического принципа поддержки забоя с автоматическим управлением давлением посредством воздушной подушки, обеспечивающего точную регулировку давления в груди забоя, была крайне вероятна ситуация, когда нормальная бентонитовая суспензия могла непрерывно дренироваться в грунт или на поверхность. Поэтому возникла идея использования более густой и тяжелой суспензии для обеспечения баланса пригруза и давления воды на груди забоя. Использование более густой и плотной суспензии требовало проведения конструктивных доработок, таких как использование смесительной установки для подготовки материала среды высокой плотности (HDSM).

Основываясь на положительном опыте использования ТПМК для грунтов переменной плотности при проходке проблематичных участков известняковой формации Куала-Лумпур для строительства линии 1 метрополитена в середине и конце 2017 г., осуществлена поставка четырех дополнительных ТПМК для грунтов переменной плотности для работ по строительству участка новой линии метрополитена 2 длиной 7 км.

ТПМК для грунтов переменной плотности диаметром 10,21 м для метрополитена Лима Лайн 2/4 (Lima Line)

Концерн «Консорцио» «Констрактор М2 Лима» (Consortio «Constructor M2 Lima»), включающий в себя компании «Эй Си Эс» (ACS), «Ф Си Си» (FCC) из Мадрида, «Салини» (Salini) из Милана и «КОСАПИ» (COSAPI) из Лима, закупил у компании «Херренкнехт» два ТПМК, машину EPBM и ТПМК для грунтов переменной плотности для строительства 35 км новой городской железной дороги, для линии метрополитена 2 в Перу. Эти два ТПМК будут использоваться для разработки линии западно-восточного направления (Ате – Лима – Каллао) участка метрополитена Лима – Каллао.

Один участок новой городской железной дороги, длиной 11,6 км, находящийся в изменчивых геологических условиях, характеризующихся преимущественным наличием крупного гравия с песком, илистого песка, глины и ила, будет разрабатываться при помощи ТПМК для грунтов переменной плотности. Эта машина имеет щит диаметром 10,21 м. Данный тоннелепроходческий комплекс для грунтов переменной плотности может работать в режиме с грунтопригрузом (EPB) и режиме с гидротранспортом, в зависимости от преобладающих условий, обеспечивая переход между этими рабочими режимами, с непрерывным поддержанием давления в груди забоя и без необходимости доступа в призабойную камеру.

В конструкцию ТПМК используется двойной шнековый конвейер DN1150. Данное исполнение предусматривает наличие шибера между первым и вторым шнеком и разгрузочный затвор в конце первого, используемый для выгрузки разработанного грунта на ленточный конвейер в режиме открытого контура или в режиме грунтопригруза. В режиме гидротранспорта разгрузочный затвор первого шнека закрыт, а шибер между первым и вторым шнеком открыт, обеспечивая таким образом возможность разгрузки разработанного грунта в устройство

Slurryfier-Vox (вместимостью 36 м³), которое установлено в конце второго шнекового конвейера. Slurryfier-Vox включает камнедробилку (щековую дробилку), которая обеспечивает размельчение крупных кусков до размера, пригодного для гидравлической транспортировки к установленной на поверхности установке по очистке бентонитовой смеси от грунта (сепарационной установке). В режимах гидротранспорта и использования суспензии высокой плотности, транспортировка разработанного грунта по шнековому конвейеру представляет собой сочетание механической и гидравлической транспортировки.

При необходимости проведения технического обслуживания дробилки, шибер шнекового конвейера закрывается, обеспечивая свободный доступ к Slurryfier-Vox.

ТПМК для грунтов переменной плотности диаметром 7,41 м для метрополитена Шатин – Централ Линк (Shatin – Central Link), Гонконг

Линия Шатин – Централ Линк в Гонконге имеет стратегическое значение для железнодорожного сообщения, связывая Тай-Вай (Tai Wai) и станцию «Адмиралтейство». Таким образом она связывает существующие железнодорожные магистрали и проходит через множество районов Гонконга. После завершения строительства, линия призвана обслуживать Восточный Коулун (East Kowloon), который в настоящее время не имеет метрополитена, а также улучшить транспортную связь между Новыми Территориями (New Territories) и островом Гонконг (Hong Kong Island).

Компания «Драгагез-Бююгез Жи Ви» (Dragages-Bouygues JV) выиграла тендер на строительство тоннелей 2×2, протяженностью 6 км, которые сформируют часть ветки Шатин – Централ Линк. Работы по строительству включают прокладку двух восточных тоннелей (поднимающегося на поверхность и опускающегося), протяженностью около 590 м каждый, которые пройдут от южного здания венти-

ляционной установки и новой станции «Экзибишн» (Exhibition) на линию Шатин – Сентрал Линк, и двух западных тоннелей (поднимающегося на поверхность и опускающегося), протяженностью около 510 м, которые будут проложены между пунктом аварийного выхода «Фенуик Пьер» (Fenwick Pier) и существующей станцией «Адмиралтейство». Поднимающиеся тоннели являются более глубокими, а опускающиеся расположены ближе к поверхности. Все тоннели должны быть построены в сложных изменчивых геологических условиях, включающих преимущественно выветрившийся гранит (CDG) с присутствием крупных неоднородностей, первичной породы и промежуточных участков смешанных условий в плоскости забоя, а также участков аллювиальных и морских отложений. Такие разнородные условия отдельных участков требуют использование двух различных типов ТПМК – миксцит с гидравлическим поддержанием давления в груди забоя и ТПМК для грунтов переменной плотности.

Три участка – два западных тоннеля и поднимающийся на поверхность тоннель восточного участка планируются к разработке с использованием миксцита. Первый миксцит начал работу в марте 2016 г. ТПМК для грунтов переменной плотности нового поколения диаметром 7,41 м был запущен 19 августа 2016 г. для разработки опускающегося участка восточных тоннелей. Этот сегмент характеризуется большими участками, состоящими из блоков породной закладки в зоне существовавшей ранее дамбы. ТПМК для грунтов переменной плотности имеет возможность постоянной адаптации к условиям плотности в плоскости забоя, чтобы обеспечить соответствие прогнозируемым разнородным условиям. ТПМК может работать как в режиме гидротранспорта, так и с использованием среды высокой плотности. Последний режим используется, чтобы справиться с очень изменчивой геологией, связанной с покрывающими породами, мощностью порою менее диаметра, где при использовании режима гидротранспорта существует риск прорыва среды пригруза наружу. Поскольку ТПМК может работать также со средой высокой плотности (HDSM), для обеспечения ей тоннелепроходческого комплекса была разработана располагающаяся на поверхности установка по её очистке.

Два ТКПМ для грунтов переменной плотности диаметром 7,05 м для ветки Форрестфилд – Эйрпорт (Forrestfield – Airport) в г. Перт (Perth), Австралия

Компании «Салини Импрегило С.п.А.» (Salini Impregilo S.p.A.) и Эн-Ар-дабл Ю Пи-Ти-уай Лтд Джи Ви» (NRW Pty Ltd JV) заключили контракт по проекту строительства двойного железнодорожного тоннеля для ветки Форрестфилд – Эйр-

порт в г. Перт, Австралия. Ветка Форрестфилд – Эйрпорт – это новая железнодорожная линия, включающая два двойных тоннеля, которые имеют длину щитовой проходки около 7,14 км. Эта новая железнодорожная линия соединит железнодорожный узел Бэйзуотер (Bayswater) и Форрестфилд. Значительный участок трассы проходит под территориями, прилегающими к аэропорту. Он включает уязвимую зону под взлетно-посадочной полосой, рулежными дорожками и зданиями аэропорта.

Ожидаемые грунтовые условия по трассе тоннеля характеризуются изменчивостью. Как предполагается, превалять будут пески, глинистые пески и цементированные слои с различной степенью прочности и цементации. Значительная часть проходки будет связана со смешанными условиями грунта в плоскости забоя, ниже уровня грунтовых вод.

С учетом прогноза наличия крупных неоднородностей с различной степенью прочности, предполагается использование двух ТПМК для грунтов переменной плотности. ТПМК диаметром 7,05 м будут работать по всей трассе проходки в режиме замкнутой системы поддержки давления для обеспечения стабильности грунта во время разработки.

ТПМК для грунтов переменной плотности для проекта Форрестфилд – Эйрпорт сконфигурированы для работы в замкнутом режиме с грунтопригрузом (EPB) и режиме с гидротранспортом, в условиях заполненной призабойной камеры и регулируемого поддержания давления в груди забоя. В обоих режимах разработанный грунт удаляется из находящейся под давлением призабойной камеры посредством шнекового конвейера, далее с использованием гидравлической транспортировки материала для режима с гидротранспортом – по закрытому шламовому контуру, а для режима HDSM – с использованием установки по переработке шлама на поверхности. Для обеспечения возможности гидравлической транспортировки разработанного грунта он после шнекового конвейера поступает в устройство Slurryfier-Box, где преобразуется в разжиженную фазу. В устройстве Slurryfier-Box установлена валковая дробилка, которая измельчает материал до размера, пригодного для гидравлической транспортировки.

Согласно плану, два ТПМК для грунтов переменной плотности проекта в г. Перт начали проходку тоннелей в середине 2017 г.

В прошлом множество проектов по проходке тоннелей в опасных зонах были успешно завершены. Используемые до настоящего времени машины продемонстрировали соответствие наивысшим стандартам технического совершенства и качества в области механизированной проходки тоннелей, обеспечивая реше-

ние задач заказчиков и охраны окружающей среды.

Заключение

Первое внедрение мультирежимной тоннелепроходческой технологии в 1980-х годах и дальнейшее ее развитие, с обеспечением возможности перехода между различными рабочими режимами в тоннеле, к примеру, от открытого режима к режиму с грунтопригрузом и гидротранспортом, а также между двумя режимами для мягких грунтов, заложило фундамент для нового поколения мультирежимных ТПМК для мягких грунтов – ТПМК для грунтов с переменной плотностью. Эти машины, а также ТПМК малого и среднего диаметра имеют возможность беспрепятственно переключаться между рабочими режимами, от режима с грунтопригрузом к режиму с гидротранспортом, обеспечивая при этом непрерывную регулировку давления в груди забоя. Значительное технологическое преимущество машин этого типа заключается в возможности обеспечения регулировки давления в груди забоя и во время перехода от режима к режиму. При этом нет необходимости входа персоналу в призабойную камеру. Число применений этого нового поколения мультирежимных ТПМК для мягких грунтов демонстрирует преимущество наличия доступного безопасного решения, обеспечивающего контролируемую эксплуатацию даже в зонах потенциально высокого риска, с наименьшим воздействием на человека и окружающую среду. Большинство сегодняшних проектов по прокладке тоннелей характеризуются сложной разнородной геологией, условиями малой мощности покрывающего слоя или требованиями по прохождению под важными, уязвимыми объектами. При использовании ультрасовременной технологии ТПМК для грунтов переменной плотности эти проекты могут быть реализованы с максимальным обеспечением безопасности и эффективности.

Ключевые слова

Переменные геологические условия, максимальная адаптивность, ТПМК для грунтов переменной плотности и водонасыщенности.

Variable geology, highest flexibility, variable density TBM.

Список литературы

1. K. Bäßler, W. Burger. *Innovation Track of Multi-Mode Machines for Complex Ground Conditions, Swiss Tunnel Congress 2016, p. 122–129.*

Для связи с авторами

Карин Бэплер
Фредерик Баттистони
Вернер Бурпер
johannis.henning@herrenknecht.de



ОЦЕНКА СПЛОШНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ БУРОСЕКУЩИХСЯ СВАЙ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

EVALUATION OF THE CONTINUITY OF THE ENCLOSING STRUCTURE FROM THE BORED-CUTTING PILES BY ULTRASONIC FLAW DETECTION

М. П. Федорова, зам. начальника отдела инженерной геологии, к. г.-м. наук, АО «Метротранс»

Т. А. Мильникова, инженер 2 категории, АО «Метротранс»

M. P. Fedorova, Metrogiprotans

T. A. Mulnikova, Metrogiprotans

Рассмотрена методика обследования сплошности ограждающей конструкции в сваях методом ультразвуковой дефектоскопии.

Examination technique discussed concrete piles in continuity by ultrasonic flaw detection.

В настоящее время на строящейся Большой кольцевой линии метрополитена (БКЛ) на участке между проектируемыми станциями «Стромынка» и «Ржевская» непосредственно в плане над трассой, на ПК 251+00 (строительная площадка 17), сооружается кольцевой диаметром 31 м и глубиной 47 м котлован, предназначенный для монтажа в нем двух щитовых комплексов и оборудования для обеспечения проходки перегонных тоннелей в сторону ст. «Нижняя Масловка», а также для приема двух щитовых комплексов, осуществляющих проходку перегонных тоннелей от строящейся, также на БКЛ, станции «Стромынка» (рис. 1).

Конструкция котлована имеет ограждение из буросекущихся свай (БСС) диаметром 1,2 м и глубиной 48,9 м, раскрепленных внутренними железобетонными круговыми поясами, расположенными по глубине на семи ярусах. То есть кольцевой котлован не имеет внутреннего распорного крепления.

Такое крепление котлована без внутренних расстрелов позволяет организовать в нем удобную, свободную от внутренних расстрелов просторную и удобную в эксплуатации монтажную щитовую камеру для обслуживания всех проходческих операций (выдача грунта, подача элементов обделки и материалов и пр.).

В связи с этим, крепление кольцевого котлована должно быть надежным в течение достаточно длительного (несколько лет) времени, поэтому одним из существенных факторов, обеспечивающих прочность крепления, является качественное выполнение работ по бетонированию свай.

С целью оценки качества сооружения ограждающей конструкции в период с 31.07.2017 г. по 09.08.2017 г. были проведены

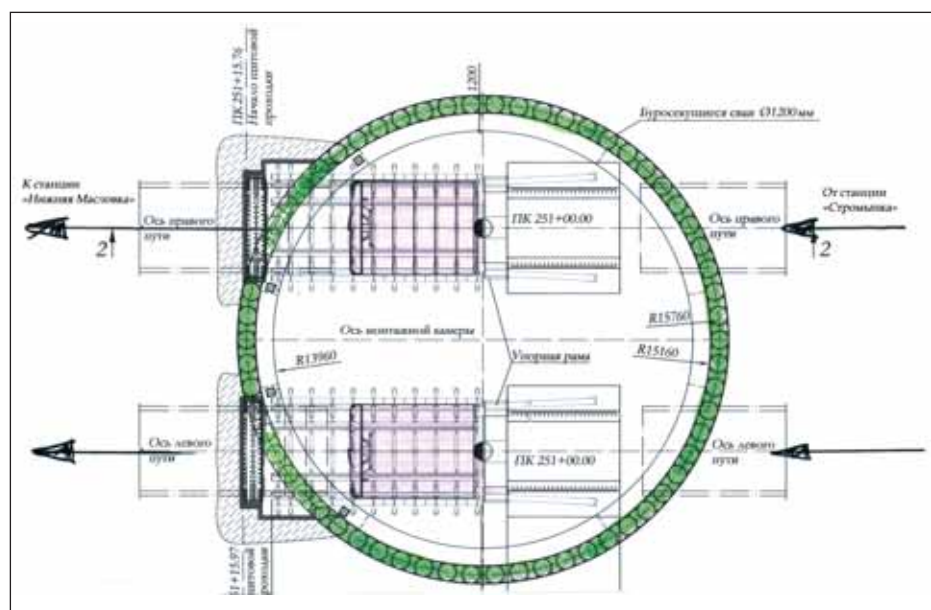


Рис. 1. План котлована

работы по обследованию бетонных конструкций из буросекущихся свай методом ультразвуковой дефектоскопии (УЗД).

Обследование проводилось последовательно на трех частях ограждающей конструкции (рис. 2): с 1 по 22 сваю (участок 1), с 23 по 42 сваю (участок 2), с 43 по 62 сваю (участок 3).

Методика обследования

Обследование свай методом УЗД (ультразвуковой дефектоскопии) основано на определении свойств проверяемого объекта по изменению одного из параметров ультразвуковой волны, прошедшей через контролируемый участок сваи.

Контроль выполняют по времени распространения ультразвукового сигнала

между преобразователями, помещаемыми в вертикальные трубы, специально заложенные в сваях и фундаментах при изготовлении. Перед началом испытаний для создания акустического контакта трубы заполняют водой.

В качестве регистрируемого параметра используется амплитуда ультразвуковой волны, прошедшей через контролируемый участок и время ее прохождения. Измеряемое время прихода и энергия ультразвуковых волн строго связаны с качеством бетона. Сигналы, поступающие от измерительных приборов во время прохождения ультразвуковой волны, регистрируются и обрабатываются на ПК, а затем выдаются в виде искомой информации о целостности и однородности ствола сваи. Обследа-

ние проводится в соответствии с требованиями [1, 2, 3].

Оборудование для проведения обследования

Обследование качества сооружения «стены в грунте» проводилось прибором «Пульсар-2.2 ДБС», предназначенным для ультразвукового контроля однородности и сплошности бетона в сваях и фундаментах глубокого заложения (в т. ч. в буронабивных и бетонных сваях, сваях по технологии непрерывного проходного шнека).

Оборудование также применимо к фундаментам типа «стена в грунте», барретах, плотинам. Оборудование произведено фирмой НПП «Интерприбор» и соответствует нормативно-технической документации на проведение УЗД-контроля свай.

Система мониторинга состоит из электронного блока, двух ультразвуковых преобразователей, двух катушек с кабелем 50 м и двух измерителей глубины (рис. 3).

Все датчики, используемые при проведении обследований, прошли заводскую тарировку.

Контроль выполняют по времени распространения ультразвукового сигнала между преобразователями, помещаемыми в вертикальные трубы, специально заложённые в сваях и фундаментах при изготовлении. Перед началом испытаний трубки проверялись, деформированные части срезались (рис. 4), для создания акустического контакта трубы заполнялись водой.

При обследовании конструкции «стена в грунте» применяется одна пара датчиков, которая попеременно переставляется по разным сечениям (при наличии нескольких трубок доступа) и подключается к регистрирующему компьютеру. После записи сигналов дальнейшая их обработка производится в лабораторных условиях.

Рис. 3. Оборудование для обследования бетона – Пульсар-2.2 «ДБС»

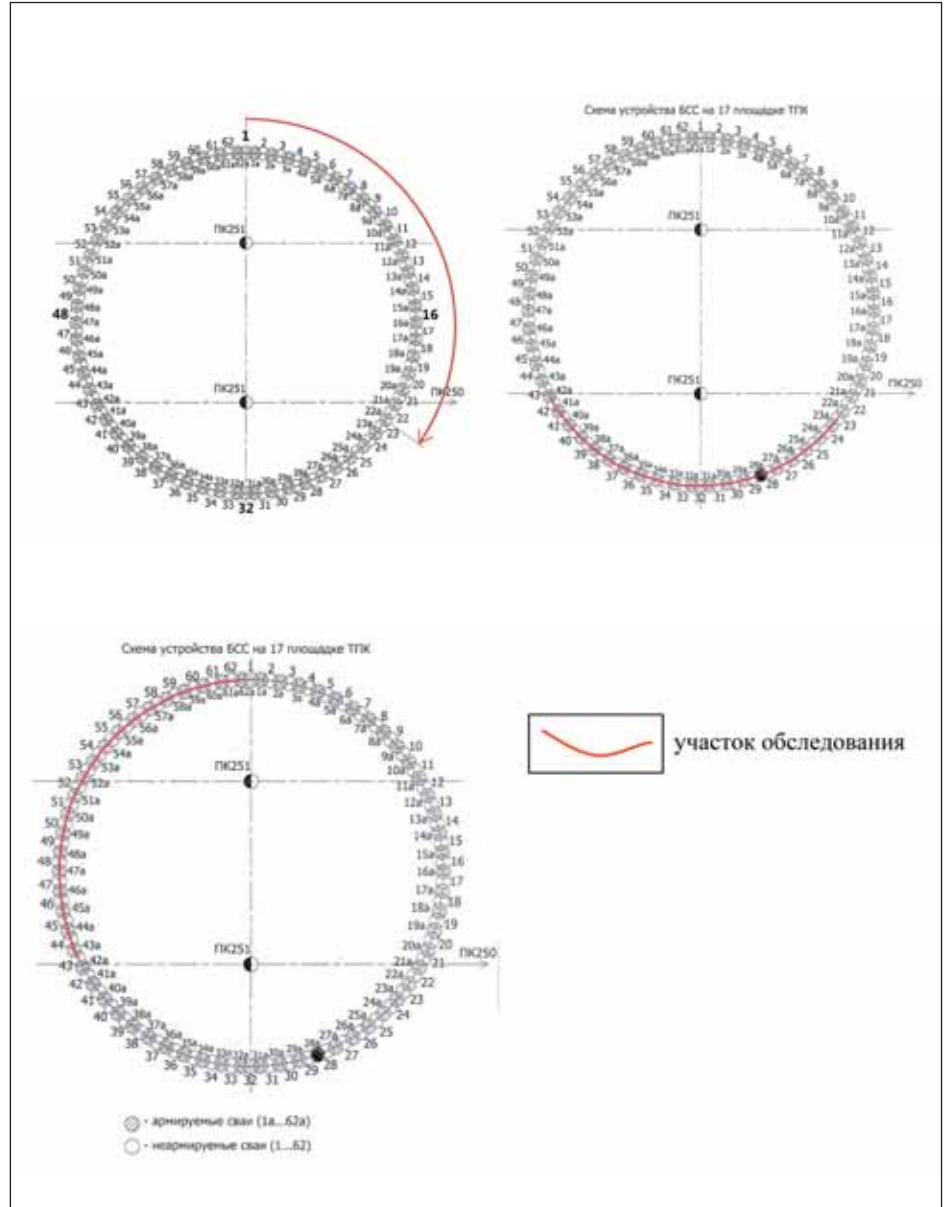


Рис. 2. Участки обследования

Рис. 4. Подготовка трубок перед испытаниями



Рис. 5. Схема УЗД обследования

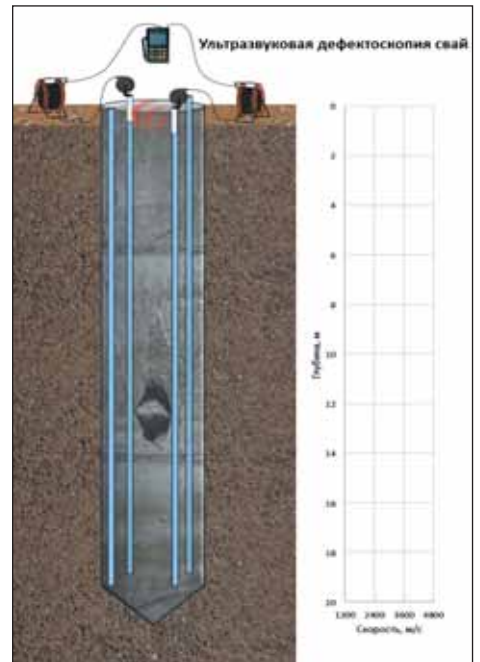


Таблица 1

Характеристики приборов, использованных при контрольных испытаниях

Физические параметры	Размеры прибора (Д×Ш×В) Масса прибора Температурный диапазон	430×325×105 мм 3,8 кг Работа: от -10 °С до +50 °С
Стандарты	ASTM D6760	Соответствует или превосходит
Технические параметры	Сенсор Частота дискретизации Усиление Измеритель глубины	D 25 мм. Двухфункциональный приём-передатчик, 60 кГц номинал, мощность до 1 Вт, стойкий к давлению 500 кГц (шаг 2 мс) 8 уровней автоматического контроля усиления Два 24-bit счетчика, ошибка < 0,1 %
Рабочие характеристики	Длина сваи / межтрубное расстояние Память	От 1 м до 145 м / до 4 м в хорошем бетоне Неограниченна
Вывод	Представление информации	Время прихода, кривые энергии и скорости волн



Рис. 6. Общий вид «стены в грунте» из бурсекущихся свай

Прозвучивание бетона проводилось по всей длине конструкции в двух смежных трубках: в горизонтальных сечениях и по наклонным направлениям, при смещении датчиков по высоте ($\Delta h = 0,5$ м) (рис. 5).

Глубина обследования сваи определялась длиной трубок под УЗД-контроль.

Обследования сваи методом УЗД состоят из нескольких последовательно выполняемых циклов, каждый из которых включает:

- спуск приемника и передатчика до нижней точки трубки, через которую проводилось исследование;

- регистрация сигналов, полученных от измерительных блоков через каждые 0,5 м, компьютерную обработку полученной информации, принятие оперативного решения о необходимости дополнительного спуска датчиков;

- перестановка датчиков в другое сечение (при наличии такового).

Критерием завершения обследования яв-

ляется получение качественных и четких сигналов во всех возможных сечениях.

Общий вид стены из БСС на 17-й площадке показан на рис. 6.

На части свай были выполнены контрольные измерения другим оборудованием. С целью производства контрольных измерений применялась регистрирующая аппаратура фирмы Piletest (Англия) в методе «Cross Hole Ultrasonic Monitor» (Межскважинный Ультразвуковой Монитор).

Рис. 7. Схема измерений: 1 – тело сваи; 2 – излучатель; 3 – приемник; 4 – катушка с измерителем глубины; 5 – регистрирующий компьютер; 6 – обнаруженный дефект

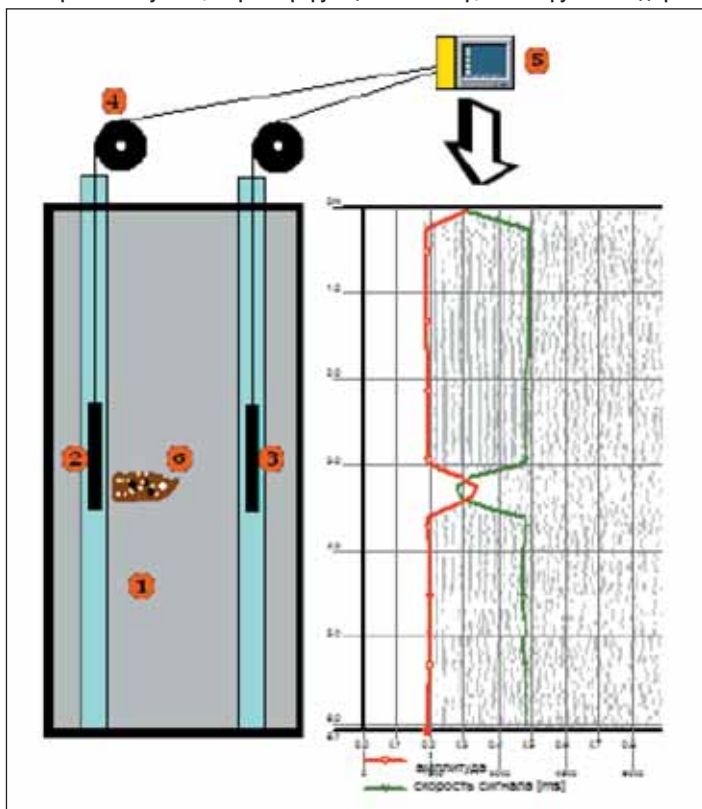
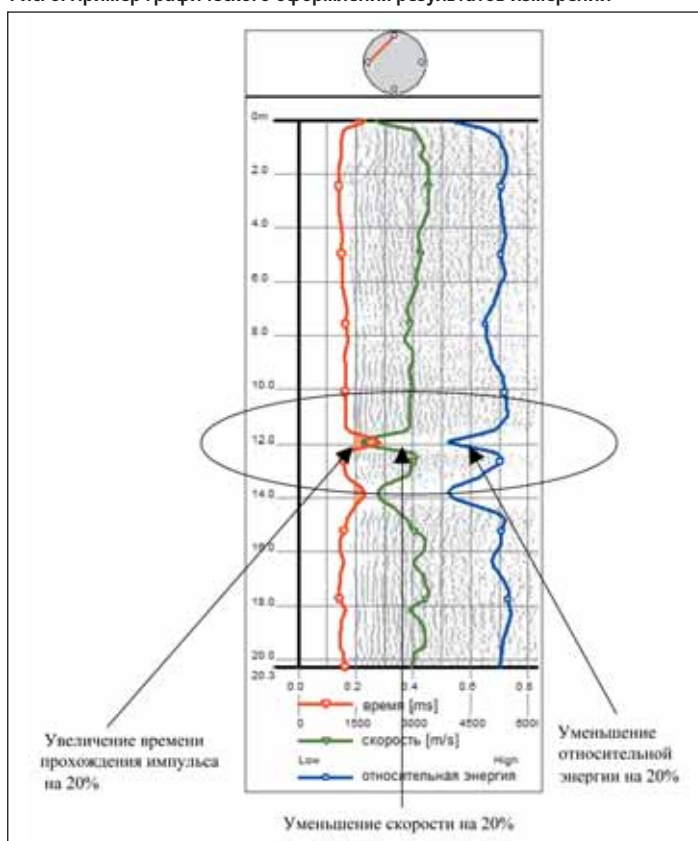


Рис. 8. Пример графического оформления результатов измерений



Аппаратура состоит из передатчика (Transmitter), приемника (Receiver), специальной катушки со встроенным электронным измерителем глубины (4) и специализированного компьютера (5) с эксклюзивным программным обеспечением. Характеристики и технические параметры использованных приборов приведены в табл. 1.

Все датчики, используемые при проведении испытаний, прошли заводскую тарировку. Перед проведением испытаний датчики проходят проверку при помощи внутренней системы контроля, установленной в компьютере.

При исследовании одной сваи используется одна пара датчиков, которая попеременно переставляется по разным сечениям и подключается к регистрирующему компьютеру (рис. 8). После записи сигналов дальнейшая их обработка производится в камеральных условиях на персональном компьютере с программным обеспечением CHUM (фирма Piletest, Англия).

При интерпретации графических результатов (см. рис. 8) руководствуются следующими показаниями:

- увеличение времени прохождения импульса относительно среднего значения больше чем на 20 % описывается как локальная неоднородность сигнала;
- увеличение времени прохождения импульса относительно среднего значения больше чем на 30 % описывается как значительная неоднородность сигнала;
- увеличение затухания относительно среднего значения больше чем на 30 % описывается как значительное затухание сигнала;
- уменьшение предполагаемой скорости больше чем на 20 % от среднего значения при одновременном увеличении затухания

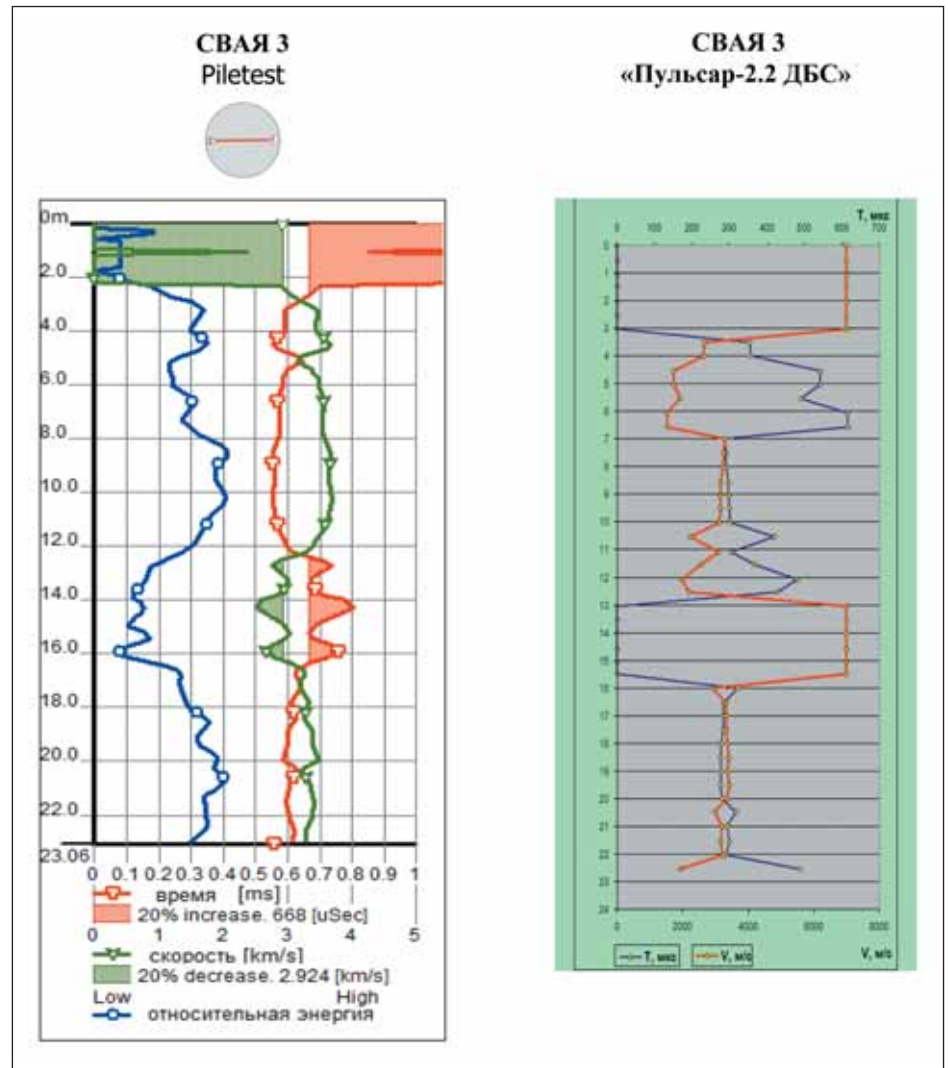


Рис. 9. Рефлектограммы (графики скоростей и времени прохождения волны) с результатами контрольных измерений

Таблица 2

Результаты обследования свай

№ п/п	Свая №	Оценка качества бетона	Зафиксированная длина свай ¹ , м	Вывод ²
1	1	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 2,5 до 19,0 м с 21,5 до 23,1 м	23,1	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
2	1а	Удовлетворительно	23,0	Сплошность ствола обеспечена
3	2	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 0,0 до 18,5 м с 22,0 до 23,1 м	23,1	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
4	2а	Удовлетворительно	23,0	Сплошность ствола обеспечена
5	3	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 0,0 до 3,5 м с 12,5 до 16,0 м	22,5	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
6	3а	Удовлетворительно	23,0	Сплошность ствола обеспечена
7	4	Обнаружены аномальные зоны на 80 % от всего сечения сваи	23,1	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
8	4а	Удовлетворительно	22,4	Сплошность ствола обеспечена
9	5	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 0,0 до 2,0 м 4,0 м с 13,0 до 22,4 м	22,4	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена

Продолжение таблицы 2

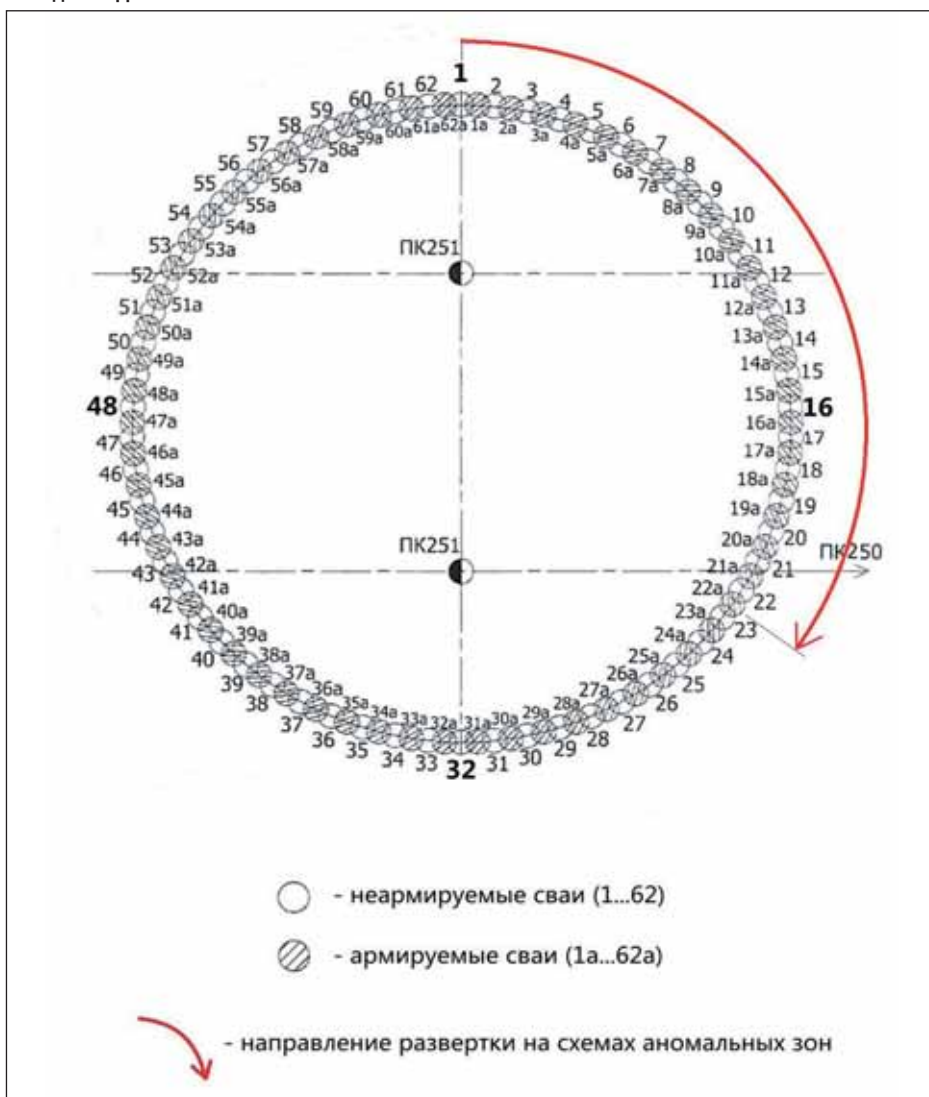
№ п/п	Свая №	Оценка качества бетона	Зафиксированная длина свай ¹ , м	Вывод ²
10	5а	По глубине свай качество бетона ниже проектного	22,9	Сплошность ствола обеспечена
11	6	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 0,0 до 4,5 м с 12,5 до 17,0 м	22,8	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
12	6а	Удовлетворительно	22,9	Сплошность ствола обеспечена
13	7	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 0,0 до 17,0 м	22,3	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
14	7а	Удовлетворительно	22,9	Сплошность ствола обеспечена
15	8	Обнаружены аномальные зоны на глубине: с 0,0 до 1,0 м с 8,0 до 13,5 м	22,9	Возможно наличие дефектов. Сплошность не обеспечена
16	8а	Удовлетворительно	22,9	Сплошность ствола обеспечена

Примечания.

1. Проконтролированная длина определялась по длине труб доступа.

2. Выводы о наличии и об отсутствии дефектов основаны на анализе скорости и времени прохождения ультразвуковой волны по всей длине конструкции

Рис. 10. План развёртки свайного поля на схемах аномальных зон по результатам испытания свай методом УЗД



более чем на 14 дБ и размерах зоны неоднородности более 300 мм идентифицируется как аномальная зона.

Всего были проконтролированы:

- сечения свай 1–22, что составило 992,7 пог. м, а также 134,02 пог. м контрольных измерений;
- сечения свай 23–42, что составило 906,6 пог. м;
- сечения свай 43–62, что составило 875,7 пог. м, а также 228,29 пог. м контрольных измерений.

Обследования проводились с отметки уровня верха армированных свай – 154,90 м.

После обработки полевых результатов обследований в цифровом и графическом отображениях были получены:

- качественные характеристики сплошности и однородности бетона по длине конструкции;
- графики скорости прохождения волны в конкретном сечении обследуемой сваи.

Рефлектограммы (графики скоростей и времени прохождения волны) с указанием длин свай, сплошности материала и наличия дефектов, подтвержденных контрольными измерениями, показаны на рис. 9.

На сваях 58а–62 для сопоставления ультразвуковых исследований с применением двух видов оборудования (регистрирующая аппаратура фирмы Piletest (Англия) в методе «Ultrasonic» и «Пульсар-2.2 ДБС» (НПП Интерприбор) было выполнено 228,29 пог. м контрольных измерений, показавшие сходности результатов.

Интерпретация и анализ результатов обследования ограждения котлована из буросекущихся свай

В табл. 2 для иллюстрации даны интерпретация и анализ результатов обследования

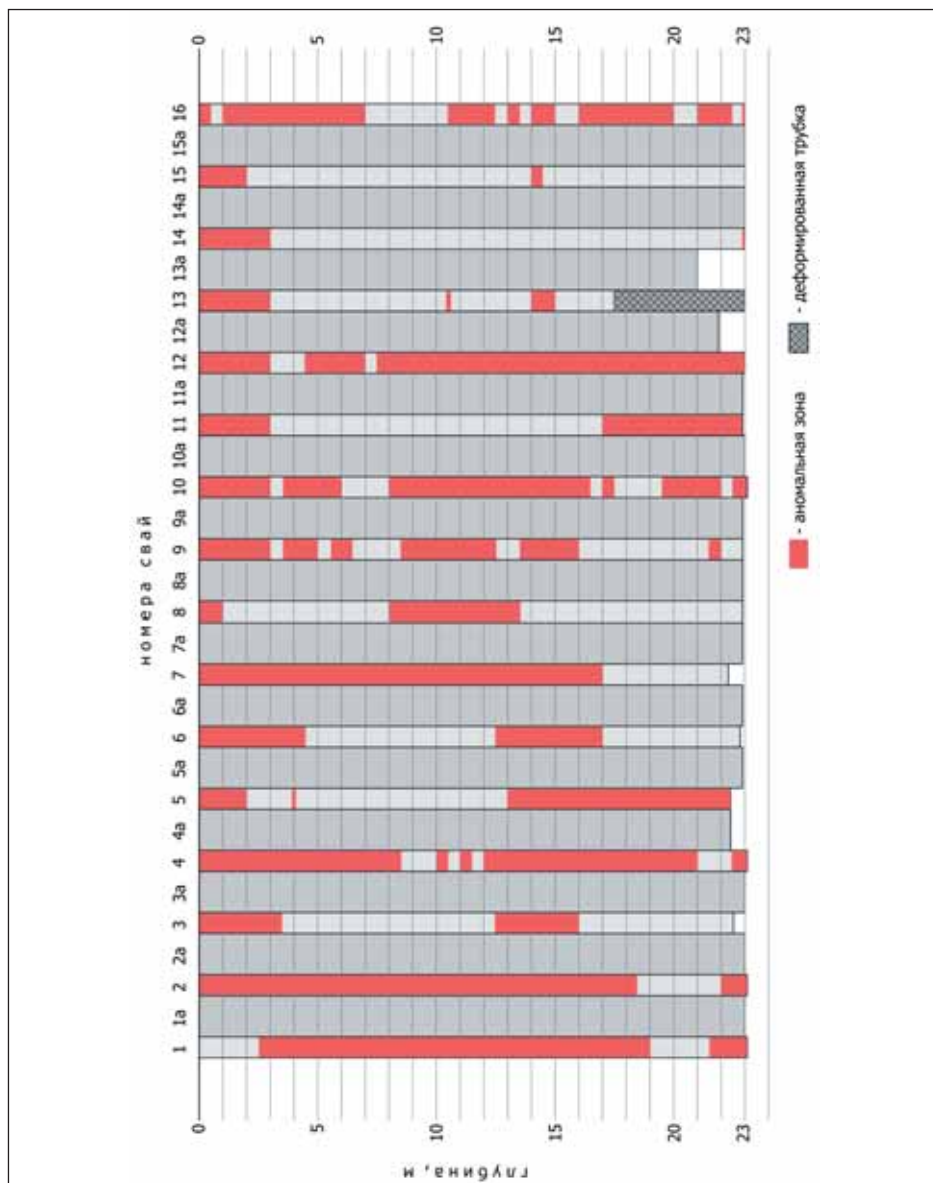


Рис. 11. Схема аномальных зон на участке 1 (сваи 1...16) по результатам испытания свай методом УЗД

Рис. 12. Ограждающая конструкция из буросекущих свай при разработке котлована



ния ограждения котлована из буросекущих свай по нескольким сваям на 1-м участке обследования.

На основе проведенного анализа сплошности бетонирования буросекущих свай «стены в грунте» построена схема (рис. 10) и показан один из разрезов аномальных зон по результатам испытаний свай методом ультразвуковой дефектоскопии УЗД (рис. 11).

При разработке котлована аномальные зоны, выявленные по результатам ультразвуковых исследований, проявились участками с дефектами ограждающей конструкции (рис. 12).

Заключение

Результаты обследования свай на сплошность бетонирования методом ультразвуковой дефектоскопии на котловане 17-й площадки позволили сделать следующие выводы.

1. Сплошность бетонирования на участках ограждения котлована армированными сваями обеспечена. Зафиксированные прочностные характеристики бетона свай в целом соответствуют проектным значениям класса прочности бетона В30, но в ряде свай (№ 43а, 44а, 48а и 56а) наблюдается снижение класса прочности бетона ниже проектного В30.

2. Качество бетонирования неармированных свай неудовлетворительное, прочность бетона в целом не соответствует проектным значениям В15, сплошность бетонирования не обеспечена, так как имеются многочисленные дефекты, особенно в верхней части ограждения на глубине в среднем до 5 м.

3. Причиной низкого качества бетонирования неармированных свай, по-видимому, является нарушение технологии производства работ как на этапе бурения и зачистки скважин, так и на этапе бетонирования ствола неармированных свай и последующего возведения армированных свай.

4. Результаты ультразвуковой диагностики позволили сформулировать рекомендации по усилению крепления котлована снаружи с применением укрепления грунта грунтоцементными сваями.

Ключевые слова

Котлован, мониторинг, тензодатчики, автоматизированная система.

Pit, concrete piles, ultrasonic flaw detection.

Список литературы

- ГОСТ 17624-87 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности»
- ASTM D6767-02: Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing.
- AFNOR (1993): Norme Francaise NF P 94-160-1 – Auscultation d'un element de fondation – partie 1: Methode par transparence.

Для связи с авторами

Федорова Марина Петровна
fedorovam@metrogirotrans.com
Мыльникова Татьяна Анатольевна
mulnikovat@metrogirotrans.com



ПОСТПЕРЕСТРОЕЧНЫЕ ТОННЕЛИ

В. З. Коган, Тоннельная ассоциация России

Результаты распада СССР оказались для Протонтоннельстроя, который я возглавлял, драматическими.

Прекратилось строительство Ускорителя-накопителя протонов, для которого, собственно, и было создано наше предприятие. Более трех тысяч человек остались без зарплаты.

Специфика горных работ не позволяет остановить строительство просто так, запереть около сорока вертикальных шахтных стволов на замок и уволить людей, соблюдая при этом действующее трудовое законодательство.

Консервация и поддержание подземных выработок – довольно трудоемкая и требующая больших и постоянных затрат работа.

Надо было закрепить забои, и не временной крепью, а рассчитанной на неопределенно долгий срок. Продолжать откачивать подземные воды, поступающие в выработки. Обеспечить содержание и исправную работу электрохозяйства и вентиляционных установок.

Коллеги пришли на помощь коллективу. Московский Метрострой поделился объемами, бывший Главтоннельметрострой помог получить работу на строительстве метро в Екатеринбурге.

Но, увы, этого было мало.

Любимое детище – Управление строительства, а тогда уже – Открытое Акционерное Общество «Протонтоннельстрой» – таяло на глазах.

Шел 1994 год. Обуреваемый тяжелыми думами, поднялся я на девятый этаж сталинской высотки у Красных ворот – здание бывшего Министерства транспортного строительства СССР.

– Владимир Асланбекович, – обратился к генеральному директору компании «Тоннельметрострой» Бессолову, – давайте помогайте, работа нужна. Загибается коллектив.

Воспитанный во многом дедом, крупным руководителем, я унаследовал от него неприятную для окружающих черту – быть всегда недовольным. Справедливости ради, отмечу – в том числе и собой.

Кажется, это называется перфекционизм.

Честно говоря, я передергивал. Оставшиеся в Протонтоннельстрое две тысячи человек жили совсем неплохо, особенно на фоне тотальной безработицы, поразившей Протвино.

Незавенный Бессолов, мой бывший босс в Бамтоннельстрое, сказал задумчиво:

– Знаешь, Коган, Газпром просит построить автодорожное пересечение под путями железной дороги в Расторгуево, под Москвой. Но тоннели должны быть в высокой насыпи и при этом расстояние от шельги свода до подошвы рельса всего два с чем-то метра. Движение по железной дороге сумасшедшее и дорога отказалась давать окна строителям. Как в этих условиях пройти и не посадить пути? Не устроить аварию?



Меня как холодной водой окатило.

...Сосновый рай моего детства. В Расторгуево меня привезли в возрасте четырех месяцев.

В этом дивном стародачном месте у деда с 1932 года был участок и небольшая дачка, вернее, полдачи. Каркасный деревянный домик со шлаковой засыпкой в качестве утеплителя. Непонятно, для чего был нужен утеплитель, если оконные рамы были одинарные, а полы неутепленные.

Большая веранда и три комнатки аж по семь квадратных метров каждая. И сад. Решета с клубникой и вишней-владимиркой. Яблоки, которых не съест и большой семье...

Все это великолепие, расположенное в 150 м от большого пруда и, позже, в 4 км от МКАД, осеняли мачтовые сосны. Не вытравилось из памяти: голые стволы в недостижимой, казалось, высоте пламенеют в лучах закатного солнца.

Мечтой моей, в то время несбыточной, был собственный дом в Расторгуево.

...Молнией мелькнула мысль использовать лежавший без дела проходческий щит канадской компании «Lovat Inc», в обиходе попросту «Ловат».

Владимир Асланбекович, да я..., да мы... – загорелся я. – Построим мы этот тоннель.

Давай мы Ловат соберем и проткнем им одним две дырки в насыпи, будет двухочковый тоннель. Гарантирую, что со щитом мы дорогу не посадим.

И продолжал:

– Есть, правда, два «но»: диаметр щита маловат для пропуска автотранспорта и, второе, – идея, конечно, диковатая – использовать машину стоимостью в несколько миллионов долларов для проходки двух коротеньких тоннелей.

Бессолов моментально врубился и заключил разговор следующим:

– Коган, предложение твое интересное. Дай команду прорисовать поперечник: пройдет ли в сечении перегонного тоннеля метро обычный автобус. Если пройдет – приезжай.

Я вышел от него и тут же связался с начальником нашего проектного бюро:

– Срочно посмотрите, пройдет ли в сечении перегонного тоннеля с чугунной обделкой городской автобус. Вечером позвоните мне домой.

На следующее утро я был у Бессолова.

– Владимир Асланбекович, с трудом, но проходит!

– Так, что теперь надо... – размышлял хозяин кабинета. – Согласовать проектное решение с областным ГАИ и Московской железной дорогой. Проектировщики у тебя есть свои, но в помощь им, особенно в части согласований, мы подключим Метрогипротранс. (Метрогипротранс – старейший и тогда еще головной проектный институт по проектированию тоннелей и метрополитенов).

– Владимир Асланбекович, а как быть с габаритами, которые не лезут ни в какие нормы и правила. И со стоимостью надо решать.

Бессолов снял трубку и позвонил при мне в Госстрой одному из кураторов нашей отрасли.

– Здравствуйте! – обратился он по имени. – Здесь такое дело: Газпром просит построить путепровод под путями Московской железной дороги. Ситуация очень сложная... – и далее все о том же: окна, габариты, стоимость. – Нельзя ли в порядке исключения согласовать уменьшенный габарит автодорожного тоннеля и его, скажем так, стоимость. Очень надо, я вам при встрече расскажу подробнее.

– Коган, – заключил Бессолов, – Госстрой, железнодорожников и Метрогипротранс мы берем на себя. Сейчас твое дело – подготовить проект производства работ. Я хочу посмотреть, как ты все это себе представляешь.

...И завертелось. В России нет правил без исключений – согласовали и сечение, и стоимость. Составили перечень мероприятий, расписали ответственных лиц. Щит лежал в Тоннельном отряде № 16. Этому коллективу мы и поручили строительство объекта.

...Подмосковный город Видное соединялся с дачным поселком Расторгуево автомобильным переездом через пути Павелецкого отделения Московской железной дороги. В 1994 г. размер движения здесь был 164 пары поездов в сутки, включая, конечно, пригородные электрички. Учитывая это, а также рост населения в Москве и Московской области, можно представить, какие автомобильные очереди стояли на переезде.

Московская железная дорога категорически отказывалась предоставить для строительства так называемые «окна» - перерывы в движении поездов.

Расторгуево в 60-е годы стало районом города Видное, и было облюбовано Газпромом, как и весь Ленинский район, для размещения своих учреждений и предприятий. Ну и конечно, Расторгуево обогатилось жилым поселком работников Газпрома.

Помнится, начальник отдела капитального строительства района спросил меня:

– Не хотите взглянуть на поле чудес?

Заинтригованный, я согласился.

Острые языки называли «Поле чудес» богатейший жилой поселок «Сосновый бор». Газпром мог бы, конечно, найти место поинтереснее, не так близко от железной дороги, но особняки и коттеджи... Их надо было видеть.

В те дни как раз обсуждалось прибытие в поселок едва ли не единственного в Москве и области автомобильного крана грузоподъемностью 350 т. Мы заказывали такой кран на пару дней в Протвино для монтажа того самого щита «Ловат». Кому-то из поселковых бонз понадобилось что-то перебросить через соседский участок. Когда мы осматривали поселок, кран простаивал, и на крюке его высоко в небе висела... небольшая бадейка.

Подальше от станции Расторгуево литовские строители – почему-то литовские – построили два коттеджа для Виктора Степановича Черномырдина, председателя Правительства Российской Федерации. Ничем, впрочем, по внешнему виду непримечательных.

Так вот, легенда говорит, что жена Черномырдина простояла в авто у переезда сорок минут и высказала свое «фэ» супругу. Возможно, об этом прискорбном случае стало известно кому-то из газовиков, и многолетние чаяния населения Ленинского района начали сбываться.

Когда идея строительства тоннелей обрела реальность, возникла еще одна, небольшая, работенка.

Дело в том, что в районе черномырдинских коттеджей не было сетей канализации, и заказчик тоннелей – симпатичный управляющий одного из подразделений Газпрома – спросил, не сумеем ли мы заодно с тоннелями построить небольшую «канээску» – канализационно-насосную станцию.

– Нет вопросов, – ответил я не без гордости, – мы можем построить выгребную яму, достойную заказчика. А уж саму КНС пусть строит Корпорация «Трансстрой».

Николай Павлович согласился. Мы прошли вертикальный шахтный ствол глубиной 12 или 15 м в обделке из сборных железобетонных сегментов. Внутренний диаметр этой «выгребной ямы» – 5,1 м. Я думаю, что и КНСку можно было не строить, так как емкости этой хватило бы не на один год эксплуатации даже без периодического вывоза нечистот.

Вообще-то сегменты предназначались для крепления тоннелей Ускорителя протонов в Протвино, но что такое высокая наука, когда речь идет о канализации для семьи премьер-министра России.

И что значили в этом случае близлежащие небольшие курганы, которые местное предание связывало с захоронением солдат 1812 года. Я, правда, не нашел где-либо подтверждений такому их происхождению.

Аборигены из соседних дач и частных домов были в восторге, так как им тоже разрешили подцепиться к «правительственному объекту».

...Дома эти, я полагаю, Черномырдиным были нужны, как рыбе зонтик. Не знаю, кто там сейчас живет.

...Вплотную к КНС видновские коммунальщики устроили площадку для сбора бытового мусора.

Пару раз в неделю я привожу сюда черные контейнеры со всякого рода отходами и травой от стрижки газонов – мечта моя о своем доме в Расторгуево все-таки сбывлась – и каждый раз с гордостью вспоминаю те славные деньки.

...Начало строительства было решено отметить застольем с ключевыми его фигурами. Я планировал устроить это неподалеку, в Суханово – любезной моему сердцу усадьбе князей Волконских, но администрация района предложила бывшую дачу Александры Коллонтай, в то время – какой-то дом отдыха или санаторий все в том же Ленинском районе.

Время провели очень мило и на пользу делу. Правда, из-за стола я отправился не в местную баню – неожиданное предложение сверх программы, – а домой, в Протвино. Мероприятие оказалось полезным для установления хороших отношений с заказчиками из Газпрома и администрацией Ленинского района. Как говорится, не мы придумали, не нам и отменять.

...Вернемся к тоннелям.

– А вы смогли бы построить не два, а три тоннеля? Третий – для пешеходов, – спросил заместитель главы района.

– Сергей Сергеевич, слышать это – одна приятность. Сколько надо, столько и построим.

Решили – быть по сему!

Для обеспечения безопасности и устойчивости насыпи проектировщики предложили устроить по обеим ее сторонам «пригруз», то есть расширить конус насыпи. Что и было выполнено. Таким образом, тоннели несколько удлинились против первоначального замысла.

Щит монтировали со стороны Видного, а вот с подготовкой площадки на расторгуевской стороне нам пришлось изрядно повозиться. Когда-то там был небольшой рынок, который я прекрасно помню – пацаном на него бегал по поручениям бабки. Рынка не стало, а вот площадка напротив выхода первого, если считать от Москвы, тоннеля, оказалась изрядно заболоченной. Она примыкала к излучине реки Битцы.

С болотиной этой мы, тем не менее, справились и застелили площадку стальными листами. Для чего – чуть позже.

Смонтировали на видновской стороне упорную раму, собрали щит – и вперед!

По преодолении насыпи, щит заехал на стальные листы. По ним мы его и перетащили, не разбирая, на ось второго тоннеля, развернули и повторили проходку, но уже в направлении Видного. И еще раз – то же самое.

Ранее операция эта была нами освоена на строительстве второй очереди Ускорителя в Протвино.

...Рассказывали, что когда проходчики перешли на второй тоннель, то в первый, еще не очищенный от строительного мусора и пока еще без дорожного полотна, ринулись автомобилисты.

Всех участников строительства не перечислишь, но светлой памяти бригадира Ивана Максимовича Борисенко не могу не упомянуть.

...Контракт на строительство транспортной развязки подписала Корпорация «Трансстрой», как генеральный подрядчик, ну а мы, Протонтоннельстрой, как субподрядчики, деньги за выполненные работы получали уже от нее. Ближе к завершению строительства отношения мои с Корпорацией из-за этих денег испортились, и на торжественное открытие путепровода я приехал уже как гость.

Открытие движения приурочили ко Дню города.

Стоял в толпе празднично одетых горожан и строителей, когда один из высоких газпромовских чинов увидел меня с трибуны и в микрофон заставил на нее подняться. Я не удержался и поблагодарил всех участников строительства, а также коротко упомянул, что этот проект для меня лично значил.

Ну а потом мы перешли в ресторан на территории почившего в перестройку завода «Металлист» и хорошо там с ребятами выпили.

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ НИКОЛАЕВИЧА МЕЛЬНИКОВА



2 июня 2018 г. скончался академик Российской академии наук, профессор, научный руководитель Горного института Кольского научного центра РАН Николай Николаевич Мельников.

Николай Николаевич родился 25 июля 1938 г. В 1960 г. он окончил Московский горный институт и начал свою трудовую деятельность сменным инженером на Соколово-Сарбайском горно-обогатительном комбинате. Здесь нашли применение его обширные знания в области горного дела, проявились незаурядные способности горного инженера, что позволило ему в дальнейшем всю свою трудовую жизнь связать с фундаментальными и прикладными исследованиями в области комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов и стратегического использования подземного пространства страны.

Годы работы Николая Николаевича Мельникова в институте Гипроцветмет (1963–1964) и Институте горного дела им. А. А. Скочинского (1965–1979) стали периодом становления его в качестве крупного и авторитетного ученого в области горного дела – в 1974 г. он защитил докторскую диссертацию, а в 1977 г. ему было присвоено звание профессора.

В эти годы он активно участвовал в разработке и реализации крупных государственных программ СССР по развитию и техническому перевооружению горнодобывающей отрасли, являясь одним из авторов строительства Красноярского завода тяжелых экскаваторов, развивая Канско-Ачинский топливно-энергетический и Южно-Якутский угольные комплексы.

В период с 1981 по 2015 г. Н. Н. Мельников возглавлял Горный институт Кольского научного центра РАН. Вплоть до своей кончины он не терял связи с институтом и являлся его научным руководителем.

Результаты научных работ Н. Н. Мельникова внесли значительный вклад в развитие теории проектирования и планирования горного производства, совершенствования разработки месторождений в сложных горно-геологических условиях, создания новой техники и ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих экологическую безопасность и экономическую эффективность горнопромышленных предприятий России. Им были созданы научные школы в области комплексного освоения рудных месторождений в сложных горно-геологических условиях с учетом сохранения природной среды, под его руководством проводились исследования по геодинамическому обоснованию безопасного освоения нефтегазовых месторождений Баренц-региона.

Н. Н. Мельников был научным руководителем крупномасштабных исследований в области подземного строительства специальных объектов государственного значения и работ по подземному захоронению радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива. Принимал участие в ряде международных проектов (ФРГ, Франция, Бельгия, Финляндия) по захоронению радиоактивных отходов. При ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС им совместно с институтами Минатома была предложена концепция проекта «Монолит» по долговременному захоронению аварийного блока.

Им было опубликовано более 350 научных трудов, в том числе 23 монографии.

Высокий авторитет Николая Николаевича Мельникова в научном мире подтверждается избранием его в 1990 г. членом-корреспондентом Академии наук СССР, а в 1997 г. – действительным членом Российской академии наук. В 2010 г. он был избран действительным членом Академии инженерных наук Сербии.

За заслуги перед страной в развитии крупномасштабных исследований в области использования подземного пространства в специальных целях Николай Николаевич Мельников награжден правительственными орденами и медалями, дважды (в 1982 и 1989 гг.) был удостоен звания «Лауреат премии Совета Министров СССР», а в 1997 г. ему было присвоено звание «Лауреат премии Правительства РФ».

Свою значимую для нашей страны научную деятельность Николай Николаевич всегда сочетал с заботой о подготовке высококвалифицированных кадров для отрасли, которой он посвятил всю свою жизнь. Никогда не чужда ему была и общественная работа – он трудился во многих научных советах по проблемам освоения подземного пространства, активно сотрудничал с Тоннельной ассоциацией России, являлся членом редакционных коллегий ряда профессиональных периодических изданий.

Выражаем глубокие соболезнования родным и близким Николая Николаевича.

Светлая память о нем навсегда сохранится у всех, кому посчастливилось работать под его руководством.

Правление Тоннельной ассоциации России