

## Учредители журнала

Тоннельная ассоциация России  
Московский метрополитен  
Московский метрострой  
Мосинжстрой

## Редакционный совет

### Председатель совета

В. А. Брежнев

### Заместитель председателя

Д. В. Гаев

### Члены совета:

В. П. Абрамчук, В. Н. Александров,  
А. М. Земельман, П. Г. Василевский,  
С. М. Воскресенский, В. А. Гарюгин,  
Г. М. Животинский, Б. А. Картозия,  
Ю. Е. Крук, В. Г. Лернер,  
С. Ф. Панкина, Г. Я. Штерн

## Редакционная коллегия:

О. Т. Арефьев, Н. С. Булычев,  
С. Г. Гринько, А. И. Долгов,  
О. В. Егоров, С. Г. Елгаев,  
А. В. Ершов, В. Н. Жданов,  
В. Н. Жуков, А. М. Жуков,  
Н. Н. Кулагин, В. В. Котов,  
В. Е. Меркин, К. П. Никифоров,  
А. Ю. Педчик, П. В. Пуголовков,  
А. А. Севастьянов, Л. К. Тимофеев,  
Б. И. Федунец, Ю. А. Филонов,  
Ш. К. Эфендиев

## Главный редактор

С. Н. Власов

## Тоннельная ассоциация России

тел.: (495) 608-8032, 608-8172  
факс: (495) 607-3276  
www.tar-rus.ru  
e-mail: rus\_tunnel@mtu-net.ru

## Издатель

### ООО «Метро и тоннели»

тел.: (499) 267-3514, 267-3425  
факс: (499) 265-7951  
107078, Москва,  
Новорязанская, 16,  
подъезд 5, оф. 20  
e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

## Редактор

Г. М. Сандул

## Компьютерный дизайн и верстка

С. А. Славин

## Фотограф

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов  
журнала только с письменного  
разрешения издательства  
© ООО «Метро и тоннели», 2009

<b>Панорама</b>	<b>2</b>
<b>Щитовая проходка</b>	
Сооружение эскалаторного тоннеля в Москве с помощью ТПМК «Lovat»	6
Г. Я. Штерн, Н. А. Сорокин	
Измерение технологических параметров щитовой проходки транспортных тоннелей	8
С. В. Мазеин	
<b>Тоннельная обделка</b>	
Дни «Херренкнехт Formwork» 2009 в Германии	10
<b>Строительная техника</b>	
Универсальная машина марки «ТОРТЕС»	12
А. А. Чирков	
<b>Сочинские тоннели</b>	
Основные проектные положения совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер – Красная Поляна	14
А. И. Салан, К. П. Безродный, А. Н. Соловьев	
Тоннельное строительство на автодорожном обходе г. Сочи. Некоторые особенности технических решений тоннеля № 6	16
В. П. Полищук	
<b>55 лет ГУП «Ленгипроинжпроект»</b>	
Уникальные проекты и прогрессивные технологии	20
С. В. Ломбас	
<b>Проектные решения</b>	
Новая трасса Звенигородского проспекта от ул. Живописной до 3-го Силикатного проезда	24
Д. Б. Лавров	
Принципы комплексного использования подземного пространства Москвы в узвязке с линиями метрополитена	26
С. Н. Власов, Е. В. Петренко, И. Е. Петренко, И. Л. Писарев	
<b>Исследования</b>	
Опыт применения автодорожного сканера ТР-ГЕО для геофизического обследования улично-дорожной сети	28
С. И. Миронов, С. В. Изюмов, С. В. Дручинин, Н. А. Круглов	
Оценка состояния массива пород гидротехнических тоннелей в процессе их длительной эксплуатации	30
Н. Н. Абрамов, Ю. А. Епимахов	
Исследование влияния строительства объектов городской инфраструктуры на сооружения метрополитена на математических моделях	34
М. Г. Зерцалов, Д. В. Устинов, В. Е. Меркин, Е. В. Шекудов	
<b>Вопросы безопасности</b>	
Аварийные ситуации при освоении подземного пространства	36
И. Л. Писарев, Б. Г. Крохалев	
<b>Метрополитены</b>	
Сравнительный анализ размещения накопителя электрической энергии на метрополитенах	39
Г. И. Криштафович, В. Я. Пахомов, А. Н. Анисов	
Диагностика частичных разрядов в силовых кабелях и электрических устройствах	42
А. В. Петров	
<b>Микротоннелирование</b>	
Применение современных систем связи в технологических процессах при строительстве тоннелей микро-проходческим комплексом МТС-2000	44
А. М. Абрамов, А. Н. Семенов, А. Е. Дадаев	
<b>В Тоннельной ассоциации</b>	
Заседание расширенного состава правления	46



## ФОТО НА ОБЛОЖКЕ:

Участок эскалаторного тоннеля, пройденного с помощью тоннель-проходческого комплекса (читайте на с. 6)

## ВЫХОД ТПМК «ЛОВАТ» НА СТАНЦИЮ «МИТИНО» В МОСКВЕ

Станция метро «Митино» Митино-Строгинской линии строится открытым способом в центре большого района, расположенного за МКАД. Ее сооружение началось в середине 90-х гг. В котловане была возведена коробка СТП, но вскоре работы были приостановлены. Возобновились они спустя более десяти лет.

В начале второй половины апреля текущего года на строительстве станционного комплекса «Митино» произошло два важных события.

Во-первых, СМУ-13 Мосметростроя завершило бетонирование свода над платформенной частью станции. Всего было сделано 30 заходок по 6 м. Используя передвижную опалубку производства Скуратовского завода, метростроевцы довели скорость бетонирования до шести заходок в месяц.

Несколькими днями позже СМУ «Ингеоком», идя со стороны станции «Волоколамская», довело по левому перегонному тоннелю свой ТПМК «Ловат» до ограждения котлована, в котором возводится «Митино». Так была завершена проходка 690-метрового отрезка закрытого способа работ по этому перегону.

Общая протяженность перегонного тоннеля «Волоколамская» – «Митино» 1240 м, из них 550 м – открытого способа работ.

Гидрогеологические условия трассы закрытого участка довольно благоприятные. ТПМК «Ловат» с роторным рабочим органом, оснащенным резцами, шел в песках со средней скоростью около 200 м/мес. Единственное, что пришлось выполнить на дан-



Мэр г. Москвы Ю. М. Лужков, начальник Московского метрополитена Д. В. Гаев (слева) и генеральный директор ОАО «Мосметрострой» Г. Я. Штерн (справа) на станции «Митино»

ном участке, – это укрепить теплотрассу, под которой велась проходка.


Сооружение правого перегонного тоннеля началось еще в 90-х гг. обычным немеханизированным щитом. Была построена почти половина закрытого участка. Но из-за отсутствия финансирования работы прекратились, а щит остался в тоннеле. И только осенью прошлого года силами СМУ-3 удалось его реанимировать и завершить проходку.

Канадский щит в котлован вышел 21 апреля. На этом событии присутствовал мэр Москвы Ю. М. Лужков, приехавший по такому случаю в Митино. Он также прошел по всей станции, задержавшись на платформе, большая часть которой уже покрыта гранитом.



Выход ТПМК «Ловат» на станцию «Митино»

Всё, увиденное в тот день, дало возможность главе города заявить, выступая перед жителями района и строителями, что давняя мечта митинцев о приходе к ним

метро будет реализована в декабре этого года. Было также сказано, что, не смотря на кризис, будет продолжаться прокладка и других линий столичного метро. 

## СБОЙКА НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЧЕЛЯБИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Сбойка тоннеля и вентиляционного ствола строящегося метрополитена прошла в присутствии жителей Челябинской области.

«При строительстве метро сбойка тоннеля с вентиляционным стволом дает дополнительную безопасность для рабочих. А в перспективе в этом месте будет сооружена


вентиляционная шахта для дачи и вытяжки воздуха», – отметил генеральный директор ОАО «Челябметрострой» Константин Абрамчук.

Условия сооружения метрополитена очень сложные: глубина 42 м и сильно обводненные грунты. На подземных работах на станции и примыкающих тоннелях участка за-

няты около 240 проходчиков, горнорабочих и инженерно-технических работников. Средняя скорость проходки составляет 25 пог. м в месяц. Всего за 2008 г. было проложено около 380 м, а с начала 2009 г. – 140 м.

На сегодняшний день построено больше половины тоннеля от «Торгового центра» до

следующей станции «Проспект победы».

Прокладка метро в Челябинске должна была завершиться в 2013 г. Однако сроки сдачи челябинской подземки придется перенести – из-за кризиса, сокращения финансирования и останова горнопроходческого комплекса «Ловат» в районе станции «Комсомольская площадь». 



# COGEMACOUSTIC®

## СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ И ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТОННЕЛЕЙ

ПОЛОЖИТЕСЬ НА НАШ ТРИДЦАТИЛЕТНИЙ ОПЫТ

Имеющая более чем тридцатилетний опыт решения проблем вентиляции и улучшения качества воздуха в шахтах, тоннельных выработках и других подземных сооружениях, компания Cogemacoustic превратилась в одного из наиболее известных в мире поставщиков специальных вентиляционных систем и пылеулавливающего оборудования.

Причины успехов Cogemacoustic многообразны. Компания предлагает решения, хорошо адаптированные к конкретным условиям объектов. Это, а также разнообразие выпускаемой продукции, позволяет компании удовлетворять практически все потребности своих клиентов.

### **Cogemacoustic предлагает:**

- экономичные и бесшумные установки. Эти качества обеспечиваются благодаря использованию электрических шкафов, оборудованных частотным преобразователем, что позволяет существенно (на 25 %) снизить затраты энергии. Модульная конструкция выпускаемых компанией вентиляционных и шумозащитных установок дает возможность добиваться исключительно высокой производительности при низком уровне шума;
- прочные и надежные изделия. Вся выпускаемая компанией продукция проходит электрические, аэродинамические, вибрационные и акустические испытания, проверку в полевых условиях; повышению качества и производительности оборудования способствует система обмена информацией с клиентами.

### **Системы постоянной вентиляции**

*Удовлетворение всех ваших требований*

Наши вентиляторы, выполненные из стали, в том числе нержавеющей, могут выдерживать температуру 400° С в течение 2 часов.

Системы вентиляции и обеспыливания для тоннелей и метро - это пример того, как мы используем свои «ноу-хау» на всем пути от замысла до реализации на объектах.



### **Шахты**

*К вашим услугам – наш богатый опыт*

Отзывы наших клиентов из разных стран мира подтверждают принятие ими технологий, используемых Cogemacoustic.

Первичная или вторичная вентиляция, регенерация воздуха и обеспыливание - над решением этих вопросов работают в тесном взаимодействии наши инженеры и техники.

Каждый вентилятор подлежит скрупулезной регулировке на испытательных стендах с целью точного соответствия требованиям ISO. Надежность и безопасность продукции - это наша первейшая забота.

### **Адрес во Франции:**

42, route du Palais  
B.P. 11575  
87022 LIMOGES Cedex 9, France  
Tel. +33 (0)5.55.37.35.37  
Fax. +33 (0)5.55.37.18.00  
[www.cogemacoustic.com](http://www.cogemacoustic.com)

### **Представительство в России:**

Tel. (495) 724-74-81  
Fax. (499) 265-79-51

# НАСОСЫ

## ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**Агрегаты одновинтовые серий АПНВ и ОНВ  
производительностью от 0,1 до 100 м³/час**

Одновинтовые насосы предназначены для перекачки чистых и загрязненных компонентов малой и высокой вязкости. Конструкция насосов позволяет решать широкий спектр задач при проведении строительных работ.

### Агрегаты применяются:

- для инъектирования цементных и других составов
- при контрольном нагнетании
- для подачи бентонита
- для кондиционирования грунта (система пеногенерации, подача полимеров)
- и для других строительно-монтажных работ

Насосы данного типа обладают хорошей всасывающей способностью. Это преимущество используют для откачки сред из мест ограниченных по габаритам (погружая всасывающий шланг от насоса непосредственно в труднодоступное место).

Так как практически во всех составах применяемых при строительных работах присутствуют абразивные включения, насосы других видов часто выходят из строя. Это требует дорогостоящих ремонтов или замены всего агрегата, что приводит к потере времени. Основные детали нашего одновинтового насоса серии АПНВ (в основном статор) можно заменить непосредственно на рабочем месте без необходимости в регулировке и специального инструмента, обслуживающим персоналом, не имеющим специальной квалификации.



**РЕМОНТИРУЕМ ИМПОРТНЫЕ  
ВИНТОВЫЕ НАСОСЫ И  
ПОСТАВЛЯЕМ ЗАПЧАСТИ К НИМ**

**(495) 775-18-00**

[www.pmserv.com](http://www.pmserv.com)



**ПИЩМАШ  
СЕРВИС**

## Преимущества

- Возможность перекачивать составы содержащие абразивные включения
- Высокая всасывающая способность
- Отсутствие всасывающих и нагнетательных клапанов обеспечивает надежность при эксплуатации
- Хорошие дозирующие характеристики (например, при смешивании нескольких компонентов)
- Равномерная (без пульсаций) подача состава
- Возможность изменения направления подачи на противоположное
- Простота в обслуживании (нет необходимости регулировки зазоров рабочих элементов насоса при ремонте и повторной сборке).
- Создают давление до 20 бар

**РАЗРАБАТЫВАЕМ  
ПРОИЗВОДИМ  
МОНТИРУЕМ  
ОБСЛУЖИВАЕМ**



## ОБЪЕКТЫ НПО «МОСТОВИК»

В 2008 г. канадский тоннель-проходческий комплекс Lovat RME238SE был доставлен из Ванкувера в г. Омск.

Транспортировка щита в связи с большими габаритами осуществлялась по частям в течение 4,5 месяцев. Комплекс планируется использовать на строительстве Омского метрополитена, в частности, перегона «Кристалл» – «Заречная» длиной 1551 м. Наружный диаметр комплекса бо-

лее 6 м, длина 85 м, общий вес – 456 т. Скорость проходки – от 12 до 15 м в сутки. В Омске такая машина будет работать впервые.

НПО «Мостовик» в настоящее время осуществляется прокладка кабельного коллектора между энергоподстанциями «Очаково» и «Сити-2» на субподряде у компании «Термосервис». Протяженность коллектора 1080 м. Железобетонные тубинги для отделки изготовлены на заводе ЖБИ

НПО «Мостовик». Также ведется сооружение футляров под водоводы в районе Рязанского проспекта и Варшавского шоссе в Москве методом микротоннелирования.

Мостовиком накоплен большой опыт по возведению аналогичных объектов. Так, в Москве сдан в эксплуатацию 310-метровый кабельный коллектор от подстанции «Сити-2» и тоннель между подстанциями «Граждан-

ская» и «Войковская» протяженностью 3349 км. Более того, в г. Омске, Москве, Сургуте, Иркутске, Тюмени, Нижневартовске, в Краснодарском крае и на Северном Кавказе объединением построено порядка 50 тоннелей различного назначения общей протяженностью свыше 30 км. Это – перегоны метро, тоннели под нефте- и газопроводы, электрические сети, канализации, водопровод и др.



## II МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ, СТРОИТЕЛЬСТВУ И ОСНАЩЕНИЮ ТОННЕЛЕЙ



Открытие выставки

С 18 по 20 марта 2009 г. в Москве в ЦВК «Экспоцентр» проходила крупнейшая в России Международная специализированная выставка «Inter Tunnel». Она была организована Выставочным объединением «РЕСТЭК» при участии ОАО «Российские железные дороги», Тоннельной ассоциации России и Международной академии транспорта.

На ней были представлены новейшие достижения в области оборудования, технологий и услуг для обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации транспортных тоннелей. Были также продемонстрированы тенденции развития строительного комплекса, способствующие внедрению новейших разработок в тоннельной отрасли.

Участники выставки имели возможность обменяться мнениями и своим видением перспектив дальнейшего развития

транспортного комплекса России и зарубежных стран, обсудить пути решения наиболее актуальных, в том числе и международных, задач.

Свои достижения и разработки представили около 30 ведущих российских и зарубежных фирм и компаний.

Тоннельное строительство требует внедрения самых передовых и высокотехнологичных разработок отраслевой науки. Это особый вид транспортной инфраструктуры, который диктует непростые задачи возведения подземных сооружений в условиях мегаполиса. Пути их решения обсуждались 19 марта на научно-технической конференции «Транспортные тоннели для будущих скоростных магистралей», прошедшей в рамках II Транспортного конгресса – 2009. Она бала организована Тоннельной ассоциацией России, ЗАО ВО «РЕСТЭК» при под-



Президиум конференции «Транспортные тоннели для будущих скоростных магистралей»

держке Министерства транспорта РФ и Департамента дорожно-мостового и инженерного строительства г. Москвы.

Цель конференции – предоставление возможности для прямого диалога, обмена идеями и развития партнерства между деловыми лидерами транспортной отрасли, демонстрации успешного опыта ведущих компаний в области тоннельного строительства, а также повышение инвестиционной привлекательности сооружения подземных объектов.

В процессе работы конференции обсуждались следующие вопросы.

- Развитие транспортной инфраструктуры мегаполиса.
- Транспортные тоннели для будущих магистралей.
- Дальневосточные морские тоннели – недостающее звено мировой транспортной системы.

- Подводные транспортные тоннели в России: опыт и перспективы строительства.

- Транспортные железнодорожные и автодорожные тоннели на трассе Адлер – Красная поляна.

- Особенности технического решения при проектировании автодорожных тоннелей на обходе г. Сочи.

- Оптимизация проектирования подземных многофункциональных комплексов в мегаполисах.

- Современные методы расчёта отделок транспортных тоннелей.

- Контроль качества, технический надзор при реализации транспортных средств и др.

В конференции приняли участие свыше 100 человек – представителей 30 организаций из различных регионов России. Всего было заслушано около 20 докладов.



# СООРУЖЕНИЕ ЭСКАЛАТОРНОГО ТОННЕЛЯ В МОСКВЕ С ПОМОЩЬЮ ТПМК «LOVAT»

Г. Я. Штерн, генеральный директор ОАО «Мосметрострой»  
Н. А. Сорокин, генеральный директор ООО «СМУ-8 Метростроя»

**О технических особенностях первого в мире щита для проходки наклонных эскалаторных ходов Lovat RME 430 журнал «Метро и тоннели» подробно писал в № 5 за 2008 г.**

**Впервые в мировой практике в конце 2008 г. с помощью ТПМК была выполнена проходка наклонного эскалаторного тоннеля. Сейчас щит выдан на поверхность.**

**В данном материале подводятся итоги проходки. Опыт, приобретенный специалистами Мосметростроя и СМУ-8 Метростроя при работе с этим щитом, уникален, как уникальна и сама проходка.**

**В** конце декабря 2008 г. была завершена проходка эскалаторного тоннеля в Москве на ст. «Марьино Роща» Люблинско-Дмитровской линии с использованием ТПМК фирмы «Ловат».

Этот комплекс был специально спроектирован и создан для сооружения наклонных тоннелей с поверхности к станциям метрополитена.

В задаче, поставленной перед разработчиками ТПМК, было, по меньшей мере, три сложных подзадачи.

Во-первых, 11-метровый ТПМК и его защитное оборудование нужно было разместить и собрать для врезки на крайне ограниченной площадке в одном из самых оживленных районов города.

Во-вторых, ТПМК весом около полутора тысяч тонн должен был вести проходку с поверхности до глубины 60 метров под углом 30°.

В-третьих, при этой проходке ТПМК должен был пересечь несколько различных по своим характеристикам геологических пластов – от водонасыщенных песков до твердой глины и известняка.

Надо сказать, что многие специалисты-тоннельщики сомневались в выполнимости поставленной задачи. Тем не менее, специалисты фирмы «Ловат» решили проблему по размещению оборудования в довольно ограниченных условиях. Благодаря применению различных технических решений, длина комплекса вместе с защитным оборудованием составила всего 35 м, из них 10 м – длина самого щита и 25 м – защитного оборудования.

Для решения второй подзадачи потребовались неординарные технические решения по выдаче породы, подаче и монтажу блоков и в целом по компоновке оборудования на наклонных конструкциях.

Третья, самая сложная, подзадача потребовала как соответствующих решений по конфигурации ротора, режущего инструмента, так и гибкости при работе с системой кондиционирования грунта.

В результате, к апрелю 2008 г. Мосметрострой получил щит внешним диаметром 10,8 м, полностью герметичный и оснащенный ротором для смешанной геологии. Машина позволяет вести проходку в таких



Процесс демонтажа комплекса в тоннеле

грунтах, где на прежних аналогичных проектах требовалось применение специальных методов.

Ротор ТПМК, в отличие от предыдущих машин с гидроприводом, оснащен электрическими приводами с регулировкой скорости вращения. Для удержания щита от ухода вниз было увеличено количество и усилие нижних домкратов.

Комплекс имеет и другие отличительные особенности. Поскольку эта машина с грунтопригрузом, то она оснащена традиционным для такого типа щитов шнековым конвейером. Но поскольку проходка ведется под уклоном в 30°, откатка грунта не может вестись также, как при горизонтальной проходке. Инженерами «Ловат» была предложена «гибридная» система: шнек выдает пульпу из

камеры ротора наверх до бункера шламового насоса фирмы «Putzmaister», который прокачивает ее по грунтоводу на поверхность и далее – в накопитель.

Переменяющиеся геологические пласты, до десяти различных типов, включая глину, песок, водонасыщенные супеси, известняк IV и VI категории крепости – представляли собой одну из основных сложностей при сооружении наклонного хода в Марьино Роще. Необходимо было организовать грамотную работу по кондиционированию грунта, оперативно изменяя состав смеси в зависимости от изменяющейся геологии, что не всегда получалось. Во время проходки в забой и в камеру ротора подавались пена, вода, бентонит, а также специальный полимер (антigelлина либо загуститель). Приходилось



Монтажная камера

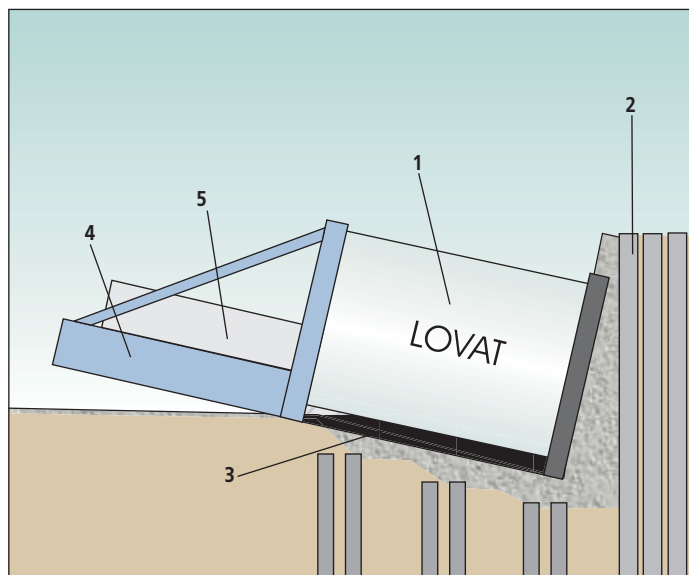


Схема устройства монтажной камеры: 1 — тоннелепроходческий комплекс; 2 — свайное поле; 3 — забетонированное ложе для щита; 4 — эстакада для защитного оборудования; 5 — защитное оборудование

внимательно следить за процентным содержанием каждого ингредиента этого «компопта», чтобы выдаваемая порода была и не слишком текучей, для того чтобы шнек мог бы его транспортировать почти вертикально, но и не слишком густой, с тем чтобы шламовый насос мог ее прокачать на поверхность.

Пока проходка велась в пластичных грунтах, система выдачи породы работала исправно. Но как только ТПМК вошел в твердые юрские глины, насос перестал справляться с комьями породы, выдаваемой шнеком. Пришлось использовать различные методы для их размельчения в роторе щита и в зоне приемного бункера шламового насоса.

Сам грунтовод представляет собой трубу, которая по мере продвижения щита наращивается. Поэтому расстояние, на которое грунт может выдаваться на поверхность, практически не ограничено. Применение такой технологии исключило необходимость использования вагонеток, конвейеров и т. п., что было бы проблематично на уклоне нашего тоннеля.

Так же неожиданные трудности возникли при проходке первых 12 м, когда пришлось буквально прогрызаться через бетонный пригруз – свайное поле из нескольких рядов буронабивных свай. Дело в том, что цемент в массиве этого свайного поля не утратил своих активных свойств к моменту проходки. При разработке бетона потребовалось много усилий и времени потратить на подбор действенной смеси для кондиционирования необычного для проходки материала. Этот невызревший бетон, вновь размолотый в цементную крошку ротором ТПМК, в смеси с водой и при повышенной температуре от возникшей химической реакции при остановках проходки схватывался в роторе как свежая бетонная смесь. Однако потратив на преодоление этой проблемы значительные усилия и время, мы прошли и этот участок.

Ведение щита по трассе – еще одна сложность при проходке под углом 30°. Здесь по-

требовался опыт квалифицированных операторов.

Другое новшество комплекса, впервые примененное в России при щитовой проходке, – это двухкомпонентная система нагнетания в заобделочное пространство, т. е. тампонажный раствор представляет собой не обычную цементно-песчаную смесь, а так называемую систему А+Б, когда одновременно в заобделочное пространство по двум независимым линиям подается компонент А (цементная смесь) и компонент Б (силикат натрия с химическими ускорителями). Каждый из них по отдельности является текучим, но после смешивания они быстро застывают.

ТПМК оборудован восемью каналами для нагнетания при одновременно работающих четырех линиях. Нагнетание тампонажного раствора осуществляется через хвостовую часть комплекса, а не через блоки, как это обычно происходит.

На первых порах этот процесс также вызвал сложности. Поскольку проходка велась под уклоном, закаченный за обделку раствор стекал обратно к юбке щита и затвердевал у линий нагнетания. Приходилось вручную выбивать застывшие образования. Выход был найден, когда после окончания нагнетания по линиям мы стали подавать бентонитовый раствор, который образовывал пробку и препятствовал попаданию тампонажного раствора к отверстиям нагнетания.

К монтажу комплекса приступили в конце апреля 2008 г. На этот процесс, наладку, устройство стартового котлована и бетонирование ложа ушло около четырех месяцев.

Проходку эскалаторного тоннеля начали в сентябре. В декабре он был завершен. Его длина составляет 94 кольца (94 м), из них 12 временных, которые демонтируются при возведении вестибюля станции «Марьино Роцца».

Обделка – высокоточная с резиновыми уплотнениями. Одно кольцо состоит из шес-

ти сегментных и одного замкового блока. Длина каждого 1 м, ширина 600 мм.

В первые месяцы 2009 г. непосредственно в тоннеле, без сооружения демонтажной камеры, ТПМК был демонтирован и его компоненты через построенный тоннель выданы на поверхность. В грунте осталась только одна тонкая наружная оболочка.

Демонтаж ТПМК RME 430 производился с помощью 40-тонной лебедки. Крупные и более тяжелые элементы щита (от 20 до 120 т) выдавались с помощью лебедки через палиспас. Защитное оборудование, общей массой 240 т, демонтировалось своим ходом с помощью лебедки через четырёхполюсный палиспас.

Неразборную моторную плиту массой 120 т выдавали на специальной тележке по рельсовому пути тройным палиспасом 40-тонной лебедкой, и двумя кранами Либхер (120 и 300 т) поднимали на поверхность и грузили на транспорт.

Для проходки очередного эскалаторного тоннеля ТПМК будет вновь собран и одет в новую оболочку.

В течение всего времени монтажа, наладки, проходки и демонтажа комплекса постоянное техническое сопровождение осуществляли представители фирмы «Ловат». Это была совместная работа над проектом, которому нет аналогов в мировой практике тоннелестроения. Как и во всяком деле, которое делается впервые, приходилось, что называется, «с ходу» находить решения для некоторых впервые возникающих проблем. На это уходило порой больше времени, чем планировалось.

А теперь опыт, накопленный на первом тоннеле в Марьино Роцца, позволит нам значительно сократить сроки работ на следующих проектах.

Коллектив Мосметростроя и СМУ-8 Метрострой гордится качеством построенного тоннеля, которое получило высокую оценку специалистов.



# ИЗМЕРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЩИТОВОЙ ПРОХОДКИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

С. В. Мазеин, канд. тех. наук

Общая транспортная ситуация в Москве, осложнившаяся за последнее десятилетие, закономерно привела к появлению крупнейших подземных транспортных объектов – трехполосных автодорожных тоннелей в Лефортово и Серебряном Бору, а также к развитию Московского метрополитена с прокладкой новых перегонных тоннелей. Основное средство проходки – это не имеющий современной альтернативы по темпам строительства, работающий с активным пригрузом забоя и с режущим ротором тоннелепроходческий механизированный щитовой комплекс (ТПМК), с трубопроводным или конвейерным транспортом грунта.

Использование проходческих щитов с применением сборной кольцевой обделки из водонепроницаемых железобетонных блоков сопутствует более низкой аварийной обстановке в сооружаемых тоннелях по сравнению с горным способом. Однако, к примеру, иногда встречающиеся обрушения грунта в забойной части по причиняемому ущербу и частоте случаев продолжают стоять на первом месте среди прочих видов аварий в тоннелестроении. Исходя из этого, полное предотвращение подобных аварий, приводящих к материальному ущербу, является актуальной задачей мониторинга щитовой технологии и изучения механики взаимодействия грунтов и проходческой машины.

Для прогнозирования сбоев в технологических процессах необходима обобщенная классификация основных ситуаций, негативно влияющих на эффективность проходки ТПМК, то есть снижающих безопасность, качество и скорость механизированной строительной геотехнологии и возможности их предупреждения и отслеживания. Эти технологические ситуации условно подразделяем на следующие виды:

- аварийные (аварии в тоннеле и на ТПМК);
- нештатные (износ ротора и щита, отказы ТПМК, критичные деформации массива и обделки);
- штатные (некритичные деформации массива и обделки, неэффективные и эффективные простои ТПМК).

Экспертная оценка текущего применения мониторинга и прогноза данных видов ситуаций говорит о большом внимании тоннелестроителей к контролю и предупреждению штатных ситуаций, касающихся простоев ТПМК и некритичных деформаций массива и обделки. Но к возможностям мониторинга и прогноза нештатных и аварийных ситуаций, представляемыми современным уровнем развития техники и технологии, тоннельщики прибегают не достаточно последова-

тельно, без учета взаимовлияющего поведения системы «грунтовый массив / ТПМК / тоннельная обделка» при критических параметрах работы щита. Поэтому без надлежащего контроля и прогноза технологических процессов становится возможным быстрое перетекание штатных ситуаций в нештатные, а нештатные – в аварийные со снижением темпов и безопасности работ. Особую роль в предотвращении нештатных и аварийных ситуаций играют встроенные в щит, эксплуатируемые системы приборного контроля технологических процессов проходки.

Современный тоннелепроходческий комплекс оснащен системами управления и навигации щита по трассе тоннеля, а также средствами контроля, измерения и регистрации параметров ТПМК и технологического процесса.

В связи с невозможностью визуального контроля процессов, происходящих в изолированном забое и замкнутых контурах рабочих сред при проходке, механизированные щиты с активным пригрузом забоя оснащаются приборами для контроля основных технологических параметров проходческого цикла. Объектами контроля являются гидравлические контуры и электрические сети комплекса, а также перемещение и положение щита и отдельных его узлов в пространстве.

Приборами контролируются основные рабочие характеристики ТПМК:

- величина и состояние пригруза;
- техническое состояние и функционирование механизмов, узлов и устройств, находящихся в забойной зоне за герметичной перегородкой;
- функционирование транспортного цикла;
- работа проходческих домкратов;
- состояние уплотнения хвостовика;
- работа нагнетания за обделку;
- состояние гидравлической системы;
- ориентация щита в пространстве.

Все измерительные параметры графически изображаются на мониторах пульта управления. Отдельные содержания текстов и обозначений на экранах подразделены согласно типу машины на специфические функциональные группы. Оператор может листать страницы на экране и получать общую картину соответствующего рабочего состояния проходческой машины.

Актуализация появляющихся на мониторе измеренных данных происходит синхронно со сбором данных. Измеренные данные собираются, если необходимо перерабатываются, вносятся в память и затем выносятся на экран. Текущие сбои, которые возникают на ТПМК, загораются на дисплее вместе с датой, временем и адресом их появления, что

позволяет оперативно предпринимать меры по их устранению.

Увеличение габаритов и сложности комплексов приводит к возрастанию объема регистрируемых рабочих параметров. На практике оператор щита при управлении технологией механизированного комплекса пользуется лишь самым необходимым и ограниченным набором показателей проходки. Перспектива использования все более сложных тоннелепроходческих комплексов вызывает необходимость ранжирования рабочих параметров щита по степени влияния на результаты проходки.

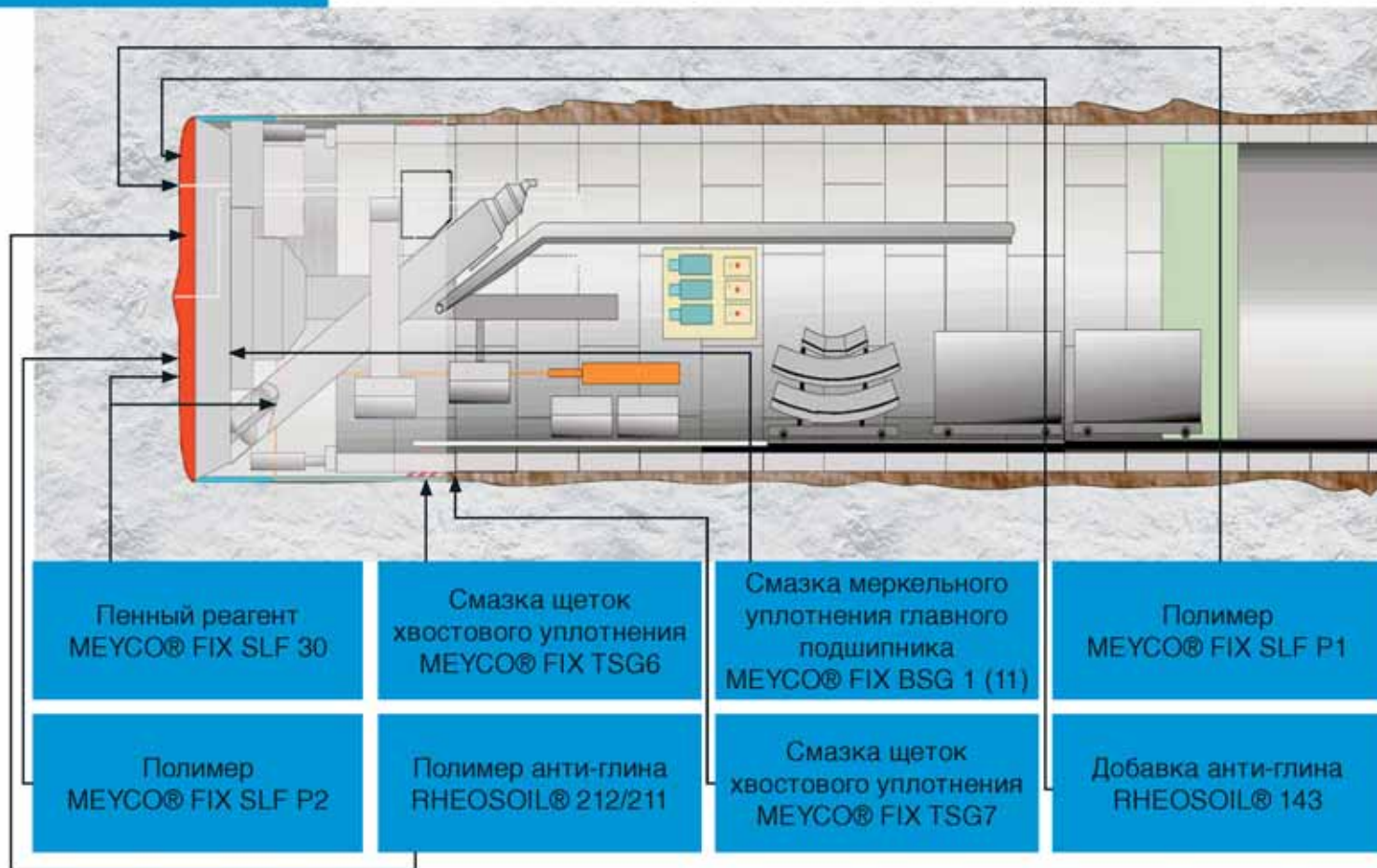
Сложность приборного и системного обеспечения видна на примере тоннелепроходческой машины диаметром 14,2 м с гидропригрузом: на ее узлах установлен комплекс датчиков контроля, в принцип действия которых заложено взаимодействие слабых полей различного типа. Классификацию неисправностей на контролируемых узлах комплекса желательнее увязать с указанием возможных аварийных ситуаций в тоннеле и на ТПМК по причине неисправности узлов, а также с указанием вида противоаварийной защиты и функций контроля. Общепринятый вид защиты – это предупредительный сигнал и аварийное отключение. Функциями контроля сред являются давление, расход, температура и уровень рабочих жидкостей. Функции контроля механизмов включают в себя отслеживание их перемещений и вращений. Для многих параметров есть возможность визуализации как на экране оператора, так и в офисе участка. Все измеряемые и расчетные параметры архивируются в памяти компьютера в офисе, многие из них распечатываются в виде протокола проходки.

Системы контроля горнотехнической обстановки на щите и вне его позволяют выполнять как текущий мониторинг, так и краткосрочный прогноз ситуации выемки и монтажа колец обделки по параметрическим зависимостям. Исходя из этого, определены перспективные исследования возможностей систем технологического контроля и прогноза на щитах с активным пригрузом:

- текущий износ ротора и резов по дистанционным индукционным датчикам;
- расчетная выемка и перебор грунта по данным объемных расходомеров в трубах или конвейерных весах;
- прогнозные деформации обделки и поверхности грунтового массива по зависимостям от параметров проходки и грунта;
- давление пригруза в зависимости от прижима ротора;
- твердые включения перед ротором в массиве непрерывным акустическим зондированием.







**BASF Construction Chemicals** – мировой лидер в области производства высококачественных расходных материалов для тоннелестроения и горного дела, имеющий обширную сеть производств по всему миру, предлагает полный спектр своей продукции, отвечающей европейским стандартам качества и экологической безопасности.

Наиболее востребованные продукты всегда имеются в наличии на складе в Москве - пенный реагент, полимеры для несвязных грунтов, смазка щеток хвостового уплотнения, смазка меркельного уплотнения главного подшипника, а также полимеры антиглина.

Вся продукция сертифицирована и имеет сертификаты экологической безопасности СЭС, поскольку является биоразлагаемой, что позволяет избежать проблем с утилизацией разработанной породы.

Продукция включена в перечень материалов, рекомендованных ведущими производителями к применению на всех типах МТПК.

Новинка 2009 года - смазка меркельного уплотнения MEYCO® FIX BSG11 обладает повышенными водоотталкивающими свойствами и улучшенной перекачиваемостью даже при низких температурах.

Расходные материалы производства BASF Construction Chemicals можно приобрести за рубли со склада в Москве. Приобретая продукцию BASF, вы также получаете бесплатное техническое консультирование в части применения расходных материалов, что позволяет добиться максимальной экономической эффективности.

# ДНИ «ХЕРРЕНКНЕХТ FORMWORK» 2009 В ГЕРМАНИИ



Здесь производятся формы для одного из Сочинских тоннелей

С 19 по 20 марта 2009 г. компания «Херренкнехт Formwork» впервые провела семинар по вопросам технологии изготовления блоков и производству форм для высокоточной железобетонной тоннельной обделки. «Херренкнехт Formwork» – относительно молодое дочернее предприятие всемирно известного производителя тоннелепроходческих комплексов «Херренкнехт АГ». Создание компании является стратегическим шагом, призванным предложить заказчикам наиболее полные и комфортные условия поставки техники для щитовой проходки тоннелей.

Семинар вызвал большой интерес среди тоннельщиков и партнеров Херренкнехта. Присутствовало более ста сорока представителей из Европы, США и России. Именно поэтому было решено сделать официальным языком мероприятия английский. Из нашей страны семинар посетили представители Московского метрополитана, Метростроя Санкт-Петербурга, Бамтоннельстроя и ЮГСК, Метрогипротранса, МГТУ, СУПРА и ряда других организаций.

Первый день начался с экскурсии по заводу. Тех, кто впервые посещает Шванау, всегда поражают масштабы производственных мощностей. Завод «Херренкнехт» – это, по сути дела, целый город, где без экскурсовода можно заблудиться: цеха по производству тоннелепроходческих комплексов больших диаметров, по выпуску щитов для микротоннелирования, а также форм по производству железобетонных блоков. Даже при сегодняшней тяжелой экономической ситуации в мире на заводе много заказов по созданию тоннелепроходческих комплексов.

Формы для производства блоков тоннельной обделки, изготовленные фирмой «Херренкнехт Formwork», хорошо известны в России. Впервые они стали поставляться вместе с ТПМК для строительства коллекторных тоннелей в Москве в 2006 г. Наиболее



Представители российской делегации на заводе «Херренкнехт АГ» в Германии

интересным и значимым является объект, где ОАО «СУПР» сейчас ведет проходку тоннеля с использованием комби-сегментов, – когда на внутреннюю сторону сегмента наносится полимерная футеровка. Эта уникальная технология, примененная впервые пока только в нашей стране, вызывает пристальный интерес специалистов во всем ми-

ре. По результатам проходки участка в 500 м будет составлено мнение о дальнейшем использовании комби-сегментов не только в России, но и в мире (см. журнал «Метро и тоннели» № 1 за 2008 г.).

Сам семинар начался 20 марта и проходил в местечке Европа Парк в двадцати минутах езды от завода в Шванау. В выступлении

Штефана Медея – руководителя подразделения по производству тоннельной опалубки, была обрисована общая ситуация по тоннелестроению в мире и приведены цифры, показывающие, что доля механизированной щитовой проходки по сравнению с традиционным методом в таких регионах как Северная Америка и Европа составляет до 80 %, а в Южной Америке и на Ближнем Востоке – порядка 60 % с тенденцией к повышению.

Интересен был доклад проф. Фрица Грюбеля из PSP от организации, занимающейся разработкой стандартов для тоннельной железобетонной обделки. Особое внимание в докладе уделялось допускам при производстве блоков. На сегодняшний день в Германии действует стандарт по допускам тоннельных железобетонных сегментов  $\pm 0,6$  мм. Почему такая высокая точность? Дело в том, что на собранное кольцо действуют значительные усилия. В первую очередь, давление, оказываемое домкратами от продвига тоннелепроходческого комплекса, давление от тампонажного раствора, а так же горное и водяное. Чем больше допуск в производстве блоков, тем больше неконтролируемых усилий оказывается на собранное кольцо и отдельные блоки в частности, что приводит к образованию трещин в обделке.

Профессор Грюбель отметил, что сегодня ведутся разработки нового стандарта для тоннельной обделки, потому что, по мнению докладчика, необходимо разделить стандарты для обделки тоннелей больших диаметров от малых, а так же сделать различия в зависимости от размера блока.

Томас Эдельман из отделения «Херренкнехт транспортные тоннели» представил любопытный доклад о том, куда может продвинуться тоннельная мысль. На суд публики была представлена концепция тоннеля, собранного по спирали (Helix Tunnel). Преимущество такого решения заключается в том, что на всем протяжении тоннеля при монтаже можно использовать блок одного размера. К явным недостаткам относятся прохождения криволинейных участков, начало и окончание тоннеля, а также вопрос с распределениями усилий внутри собранного по спирали тоннеля. Но как предупредил докладчик, эта концепция озвучена с целью обсуждения и является своего рода гипотезой, над которой, возможно, стоит призадуматься.

Давним партнером «Херренкнехт АГ» является немецкая компания Phoenix (PDT Profiles), производящая резиновые уплотнители для тоннельной обделки. Её продукция широко известна в России и используется на многих объектах, начиная от коллаторных тоннелей и заканчивая большими 14-метровыми диаметрами. На сегодняшний день Phoenix является лидером в производстве тоннельных уплотнителей.

Продукцию компании отличает выгодное соотношение цены и качества, и она представлена на четырех континентах.

Впервые Phoenix стала поставлять уплотнители из эластомерной резины в 1969 г. на строительство тоннеля Neuer под Эльбой в Гамбурге. С тех пор компания динамично развивается, и ее продукция постоянно совершенствуется. Сегодня широко применяются двухслойные резиновые уплотнители, а так же новая разработка инженеров Phoenix, когда не нужно использовать клей, а рамки, имеющие по краям два выступающих «гребня» по всей длине профиля, закладываются в бетон непосредственно на заводе по производству блоков.

В завершение Андреас Динер из Phoenix сообщил, что в этом году компания заявит о создании совершенно новой концепции уплотнителя для тоннельной обделки.

Еще одним традиционным партнером Херренкнехт АГ в процессе производства блоков является фирма Anixter Sofrasar, небольшая компания на северо-востоке Франции на границе с Германией. Небольшая, но имеющая значительный вес в тоннельном мире, ибо благодаря ее разработкам различных соединительных систем тоннельных блоков многие подрядчики в мире предпочитают продукты с маркой Sofrasar.

Компания специализируется на болтовых соединениях, соединениях, работающих в распор (drifting systems), центральных закладных деталях для нагнетания раствора и подъема блокукладчиком, а также создаёт крепежные системы под конкретные условия заказчика.

Была представлена новая разработка инженеров Sofrasar – шаровое соединение, которое по их мнению, лучше обеспечивает восприятие срезающих усилий. Свойства этого элемента, выполненного из термопластического материала, а также его специфическое очертание, могут обеспечить регулирование боковых, относительно продольной оси тоннеля, деформаций, которые лучше всего можно определить совместно и в соответствии с построенными кривыми. Кроме того, очевидно, что этот подход исключает необходимость в центрирующем стержне.

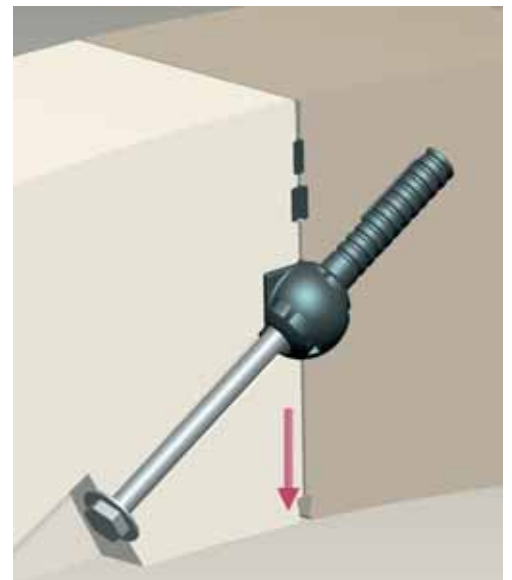
Подводя итог, нужно сказать, что в современном мире все большее значение приобретает освоение подземного пространства, технологии, применяемые при его строительстве и способы крепления выработок. То, что сегодня Херренкнехт совмещает в себе и производителя тоннелепроходческих комплексов, и производителя оборудования для крепления выработок, безусловно, имеет большой плюс. Плод совместных усилий специалистов из разных областей, но работающих рука об руку и решающих совместные задачи, возможно, приведет к очень интересным и неожиданным решениям в тоннелестроении.



Пример тоннельной обделки, собранной по спирали



Новый уплотнительный профиль фирмы «Phoenix», утопленный в железобетонный блок



Шаровое соединение – новая разработка фирмы «Sofrasar»



# УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАШИНА МАРКИ «ТОРТЕС»

А. А. Чирков, заместитель генерального директора ООО «Рекон групп»



Группа компаний «Рекон» предлагает аренду и продажу специальные дистанционно управляемые машины марки «ТОРТЕС». Они предназначены для демонтажа в ограниченном пространстве и проведения горнопроходческих работ. Особая конструкция позволяет эффективно разрушать породу или армированный бетон с помощью гидромолота или бетонолома. Официальный дилер – ООО «Рекон групп» не просто осуществляет поставку данной техники, но и проводит квалифицированный инструктаж операторов заказчика.

**М**еханизация процесса демонтажа в подземном строительстве осложняется рядом ограничений: по размерам и весу оборудования, требованием по отсутствию выхлопных газов и др. Однако на сегодняшний день существует специальная техника, подходящая для условий подземного применения и обладающая значительно более высокой производительнос-

тью, чем бригада даже самых опытных рабочих. Речь идет о дистанционно управляемых демонтажных машинах компактного класса немецкой фирмы «ТОРТЕС». Имея электрогидравлический привод, роботы марки «ТОРТЕС» не выделяют выхлопных газов. Благодаря небольшим размерам и весу техника легко опускается в шахту и свободно перемещается в узких проходах. Раз-

рушение породы ведется с помощью мощных гидромолотов. Например, высота модели ТОРТЕС 1850 около 1,5 м, шасси может сужаться до 80 см, а масса машины всего около 2 т. При этом 1850 использует гидромолот SB 202, предназначенный для более тяжелых экскаваторов весом от 2,8 до 6 т! На более мощных моделях типа ТОРТЕС 4500 и 5500 с вылетом стрелы около 7 м воз-

Таблица

Технические характеристики машин ТОРТЕС

Характеристика	Модель			
	1850 E	2500 E	4500 E	5500 E
Вес без навесного, кг	2000	2400	5800	6250
Мощность двигателя, кВт	18,5	18,5	35,0	35,0
Размеры базы, Д×Ш×В, м	2,0×0,8 – 1,2×1,5	2,0×0,8 – 1,2×1,5	3,0×1,5 – 1,9×1,8	3,2×1,5 – 1,9×1,8
Рабочий радиус, м	около 5	около 5	около 7	около 7
Отвалы 2 шт.	да	нет	нет	нет
Аутриггеры 4 шт.	нет	да	да	да
Модель гидромолота (рек.)	SB 202	SB 202	SB 302/452	SB 452/552
Ударная мощность мин., Дж	410	410	600/850	850/1100



Рамный защитный каркас

можно установка гидромолотов ударной силой не менее 1 кДж, что позволяет без труда разрушать породу крепостью более XII по шкале Протодяконова. Усиленная высокоманевренная трехсекционная стрела обеспечивает достаточную прижимную силу и позволяет бить породу даже вертикально вверх. Но основной особенностью такой техники является дистанционное радиоуправление. Оператор находится вне зоны возможного обвала, что значительно повышает безопасность. При этом он отлично контролирует процесс разрушения, поскольку не стеснен кабиной, что в сочетании с точным позиционированием стрелы позволяет добиваться впечатляющей аккуратности.

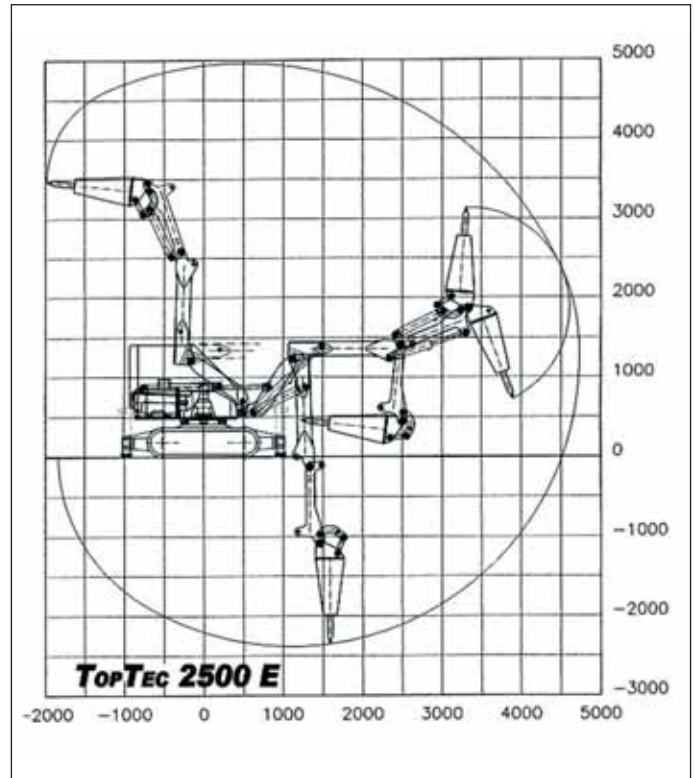
Техника подобного рода, хотя ещё не получила массового распространения, но уже применяется на различных объектах подземного строительства в России. На подрядной основе машины выполняли разрушение упорных стен горнопроходческих щитов при сооружении станции метро «Кунцевская» Арбатско-Покровской линии метрополитена. С января 2008 г. TOPTEC 4500 используется на специальных объектах компании «ТрансИнжстрой». Несколько моделей 2500 работают на возведении станций метро в Санкт-Петербурге. В марте 2009 г. разрушитель 5500 начал проходку в одном из тоннелей возле г. Сочи. TOPTEC может применяться не только для демонтажа в тоннелях. Сложные фундаментные работы на различных объектах подземного строительства тоже требуют подобной техники. Во время реконструкции гостиницы «Ленинградская» машина 1850 вскрывала бетонный пол бомбоубежища. За пять восьмичасовых смен было выбито и извлечено более 40 м<sup>3</sup> бетона марки 600.

Почему именно TOPTEC, в чем же главное преимущество данной техники? Помимо чисто технических ограничений, проходка породы сопряжена с большим риском. Крупные обвалы материала довольно редки, но весьма вероятны. А падения относительно неболь-

ших кусков породы массой несколько десятков килограммов сопровождают почти любые процессы. К счастью, оператор демонтажной машины находится в удалении от опасной зоны, чего не скажешь о самом работнике. Поэтому, помимо общей надежности техники, первостепенной по значимости является защищенность от обрушения. Все модели TOPTEC имеют пространственный защитный каркас, ограждающий внутренние узлы и агрегаты. На каркасе устанавливаются стальные листы толщиной около 5 мм. Три секции стрелы выполнены из легированной стали толстостенного профиля, многие детали цельно литые. Особое расположение гидроцилиндров позволило убрать большую часть гидравлических линий под стрелу. Эти и другие конструктивные решения привели к созданию техники, способной выдержать значительные ударные воздействия.

Дополнительным преимуществом является универсальность применения. В качестве навесного оборудования могут использоваться мощные фрезы для аккуратного послойного удаления материала. Различные ковши, ротационные грейферы с удлинительными штангами позволяют извлекать грунт или битую породу. Благодаря быстроразъемным соединениям смена навесного оборудования занимает 2–3 мин.

Следует отметить доступность запасных частей для данной техники. В каталоге преимущественно используется кодировка про-



Рабочий радиус машины 2500 мм



На строительстве автострады М-30 в Испании

изготовителей комплектующих известных марок: Siemens, Bosch Rexroth, Hawe и др. Это дает возможность закупать детали напрямую у производителей или их представителей. Со своей стороны ООО «Рекон групп» готово обеспечить снабжение запасными частями, но не ограничивает заказчика в поиске альтернатив. Таким образом, на сегодняшний день TOPTEC является универсальным и проверенным средством решения самых сложных и ответственных задач в подземном строительстве.



ООО «Рекон групп»  
официальный дилер TOPTEC  
[www.reconggroup.ru](http://www.reconggroup.ru)  
+7 (495) 721-19-00;  
+7 (495) 721-95-79

# ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОВМЕЩЕННОЙ (АВТОМОБИЛЬНОЙ И ЖЕЛЕЗНОЙ) ДОРОГИ АДЛЕР – КРАСНАЯ ПОЛЯНА

А. И. Салан, К. П. Безродный, А. Н. Соловьев, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Район трассы расположен на южном склоне Западного Кавказа, в Адлерском районе г. Сочи. Протяженность трассы 45 км, большая часть которой расположена на территории Сочинского природного национального парка. На первых пяти километрах рельеф местности предгорный с абсолютными отм. от 0 до 150 м, с пятого по одиннадцатый километр – низкорослый с отм. от 150 до 300 м, до 21 км – среднегорный с отм. до 1000 м, в районе пос. Красная скала и далее – высокогорный с отм. 2500 м и более.

Долина реки Мзымта, вдоль которой проходит совмещенная дорога, на большом протяжении имеет V-образную форму, пересекает три хребта, образуя ущелья Греческое, Ах-Цу и Ахштырское, на остальных участках долина реки трапециевидная. Склоны прямые с крутизной от 15–20° до 40–45°, в ущельях отвесные, по которым развиты оползни, отвалы, осыпи, курумники, в зимнее и осеннее время – соли и лавины.

С 45 до 35–36 км распространены гранодиориты, на которых залегают диабазы и диабазкорфиты, на них расположена мощ-

ная толща теригенно-вулканогенных флишеподобных нестратифицированных отложений: черных и серых высокопрочных карбонатных аргиллитов, алевролитов и карбонных песчаников.

Вулканогенные отложения представлены туфами, базальтами, туффитами. Породы – высокой дислоцированностью, разбиты и смещены по многочисленным тектоническим зонам надвигового и взбросового характера.

С 36 по 24 км залегают тонкослоистые известняки, темноцветные известковые аргиллиты, алевролиты и песчаники, сильно-дислоцированные, разбитые на блоки тектоническими разломами общекавказского направления.

21–24 км отложения приурочены к периферии геосинклиналиного прогиба и представлены мощной толщей толстослоистых рифогенных и биогенных известняков, слагающих прорезаемой рекой массив Ах-Цу. Еще один участок, с 11,5 по 13,3 км (Ахштырское ущелье), слагают тонкослоистые светлые известняки.

На остальной части трассы чередуются слабопрочные, слабодислоцированные а-

гиллитоподобные глины и карбонатные песчаники.

Депрессионная кривая проходит ниже подземных выработок, поэтому отсутствует гидростатическое давление на этом уровне. Грунтовые воды только инфильтрационные от дождей и снеготаяния.

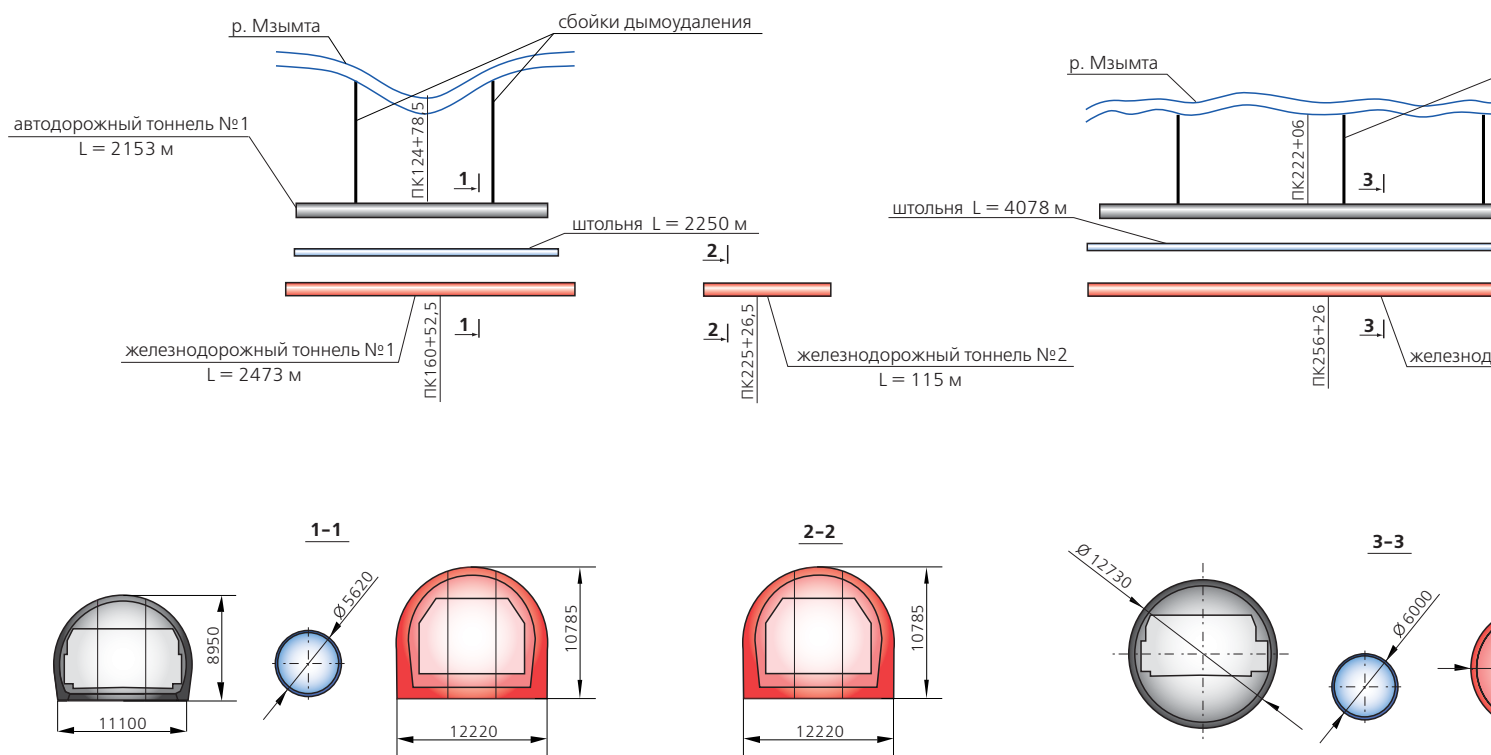
На некоторых тоннелях предпортальные склоны оползневые, неустойчивые.

Расчетная сейсмичность 9 баллов.

Всего на трассе запроектировано шесть железнодорожных тоннелей общей протяженностью 10,5 км, три автодорожных общей длиной 7,5 км. Между первыми железнодорожным и автодорожным, третьим железнодорожным и вторым автодорожным, пятым железнодорожным и третьим автодорожным тоннелями предусмотрены штольни общей протяженностью 9,1 км.

Третий железнодорожный, второй автодорожный тоннели и штольни будут сооружать щитовыми механизированными тоннелепроходческими комплексами с закрытой грудью с блочной круговой железобетонной водонепроницаемой обделкой.

Остальные тоннели подковообразного очертания. Их прокладка запроектирована



горным способом. Обделка железобетонная с пленочной гидроизоляцией.

В период строительства будет вестись геотехнический мониторинг; в процессе которого, в частности, необходимо уточнить инженерно-геологические и гидрогеологические условия впереди забоя и определить фактические физико-механические характеристики массива.

Проектируемые тоннели расположены на левом берегу р. Мзымта и входят в общий проектный транспортный комплекс олимпийской трассы Адлер – Красная Поляна.

Проектирование положения тоннелей в плане и профиле велось из условия обеспечения: возможно короткой длины, максимальных радиусов кривых и размещения врезок в наиболее благоприятных геологических условиях и существующего горного рельефа.

Тоннельные комплексы представляют собой (рис. 1):

- 1-й тоннель – параллельные железнодорожный и автодорожный тоннели со штольней между ними;
- 2-й – железнодорожный;
- 3-й – параллельные железнодорожный и автодорожный тоннели со штольней между ними;
- 4-й – железнодорожный;
- 5-й – железнодорожный и автодорожный тоннели со штольней между ними;
- 6-й – железнодорожный.

**Тоннель № 1**

Расположение тоннелей относительно р. Мзымта принято, исходя из условий про-

ветривания и возможности выхода вентиляционных штолен на береговой склон Мзымты из автодорожного тоннеля, следовательно, он располагается ближе к реке, затем ~ в 26 м (в осях) штольня и за ней ~ в 26 м (в осях) железнодорожный тоннель.

Радиус плановой кривой в автодорожном тоннеле составляет 2100 м, железнодорожного – 2500 м.

Тоннели имеют односкатный продольный профиль с подъемом к Северному portalу с отм. 80,0 м, отм. Южного ~ 100,0 м.

**Тоннель № 2**

Железнодорожный тоннель запроектирован на левом берегу р. Мзымта. Радиус плановой кривой составляет 2500 м.

Тоннель имеет односкатный продольный профиль с подъемом к Северному portalу с отм. 14,1 м.

**Тоннель № 3**

Тоннели № 3 (автодорожный и железнодорожный) и штольня находятся на левом берегу р. Мзымта.

Размещение их относительно р. Мзымта принято исходя из условий проветривания и возможности выхода вентиляционных штолен на её берег из автодорожного тоннеля. Следовательно, ближе к реке располагается автодорожный, затем ~ в 26 м (в осях) штольня и за ней ~ в 26 м (в осях) железнодорожный тоннель.

Радиус плановой кривой в тоннелях со стороны Южного портала составляет 2500 м на длине 1080 м. Далее их трасса

проходит на прямой, вплоть до Северного портала.

Тоннели имеют односкатный продольный профиль с подъемом к Северному portalу. Его отметка – 190,0 м, Южного ~ 163,0 м.

**Тоннель № 4**

Железнодорожный тоннель расположен на левом берегу р. Мзымта с радиусом кривой 1500 м. Его продольный профиль односкатный с подъемом к Северному portalу, который имеет отм. 304,8 м, Южный – 310,9 м.

**Тоннель № 5**

Железнодорожный тоннель находится на левом берегу р. Мзымта и расположен на S-образной кривой со стороны Северного портала с радиусом 2500 м на длине 760 м, далее 280 м прямая вставка, затем 2500 м плановая кривая.

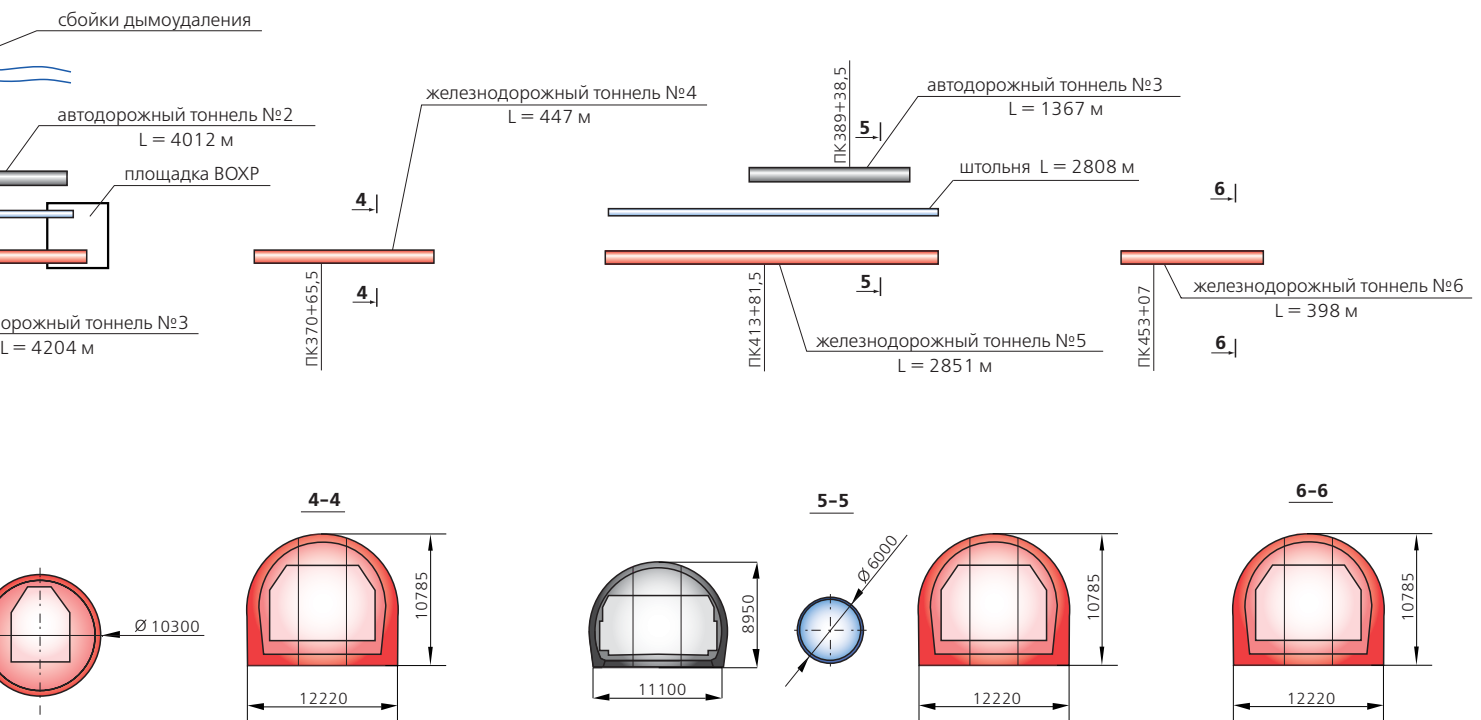
Штольня находится на расстоянии 26 м от тоннеля и имеет идентичные с ним плановые кривые.

Тоннель с односкатным продольным профилем с подъемом к Северному portalу с отм. 401 м, отм. Южного – 488,6 м.

**Тоннель № 6**

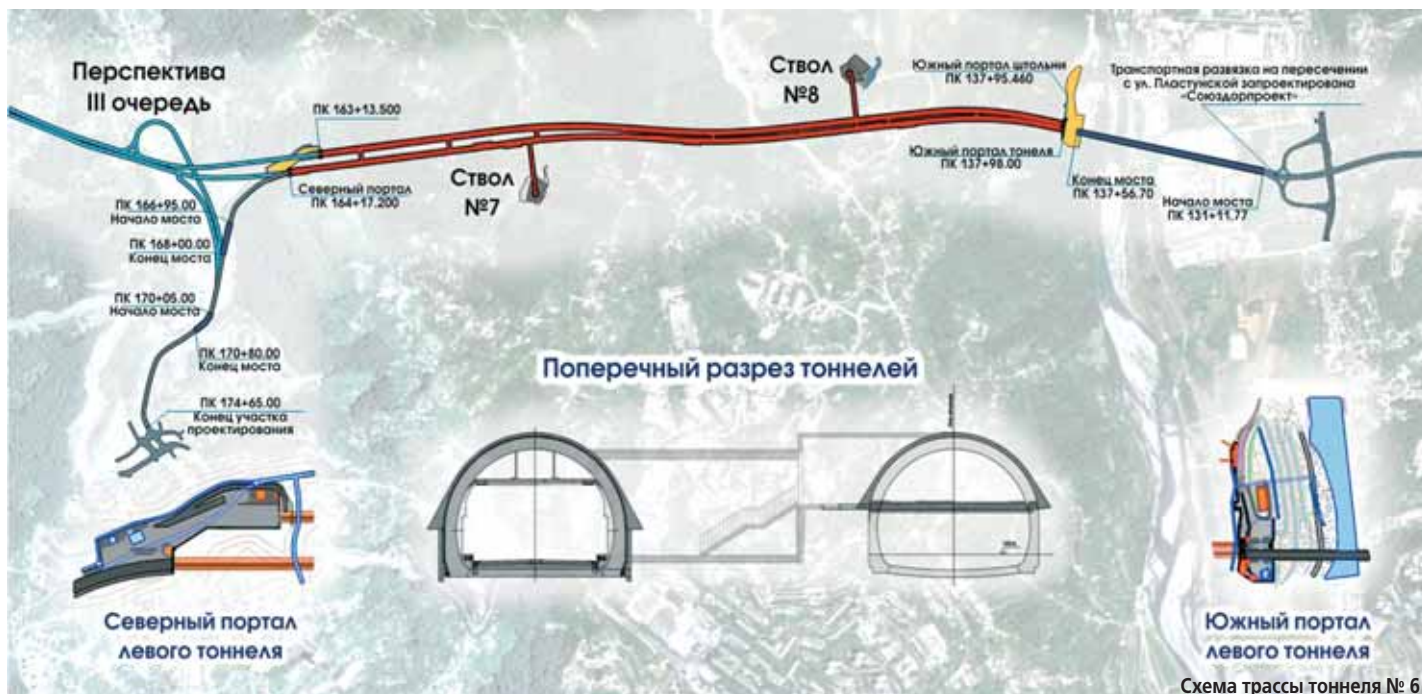
Железнодорожный тоннель находится на левом берегу р. Мзымта и расположен на прямой, за исключением 100-метрового участка со стороны Южного портала, где имеется кривая радиуса 600 м.

Тоннель имеет односкатный продольный профиль с подъемом к Северному portalу, отм. которого – 516 м, Южного – 520,1 м.



# ТОННЕЛЬНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО НА АВТОДОРОЖНОМ ОБХОДЕ г. СОЧИ. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ТОННЕЛЯ № 6

В. П. Полищук, главный инженер ОАО «Минскметропроект»,  
член Тоннельной ассоциации России, почетный строитель России



Увеличение объема тоннельного строительства в регионе г. Сочи обусловлено необходимостью создания транспортной инфраструктуры для проведения зимней Олимпиады-2014. С этой целью продолжается сооружение автодорожного обхода г. Сочи, проектируется прокладка дублера Курортного проспекта в центральном районе города, железнодорожных подъездов к городу, к Олимпийской деревне, к аэропорту и к олимпийским объектам в п. Красная Поляна. Трассировка этих объектов предусматривает большое количество тоннельных пересечений.

## Характеристика участка строительства

Автодорога Джубга – Сочи проходит вдоль Черноморского побережья через центральную часть г. Сочи до границы с Республикой Абхазия. В Адлере к автодороге Джубга – Сочи примыкает федеральная трасса Адлер – Красная Поляна, ведущая к месту проведения зимней Олимпиады 2014 г.

В настоящее время заканчивается рабочее проектирование и строительство II очереди обхода от ул. Пластунская до р. Псахе с подъездной автодорогой от 172 км существующей федеральной автодороги к ПК 164 обхода. Его трасса пересекает долины рек Сочи и Псахе. Протяженность II очереди – 4,417 км. В состав строительства входит тоннельный участок с автодорожным тоннелем № 6 через Мамайский хребет протяженностью 2620 м.

Укрупненные технико-экономические показатели по участку автодорожного обхода г. Сочи:

категория дороги	II
строительная длина	4,62 км
расчетная скорость	80–100 км/ч
ширина земполотна	15 м
ширина проезжей части	7,5 м

тоннели:	
общая длина	2620 м
габарит	8,5 + 2 × 0,75 м

## Характеристика состояния строительства

Сооружение тоннеля № 6 осуществляется с 2000 г. При этом интенсивное финансирование объекта Росавтодором началось в 2007 г. после того, как была выполнена корректировка инженерного проекта.

В 2009 г. объект должен быть введен в эксплуатацию.

Заказчик – Федеральное государственное учреждение «Дирекция

по строительству и реконструкции автомобильных дорог Черноморского побережья Федерального дорожного агентства Минтранса РФ».

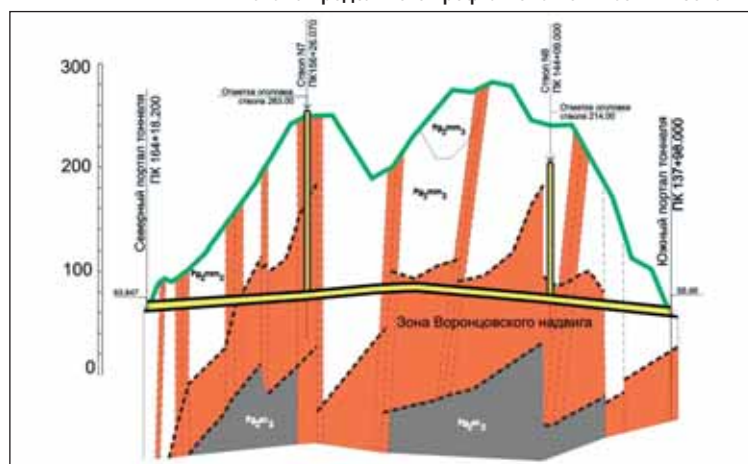
Генеральный подрядчик – ООО «Тоннельдорстрой».

Генеральный проектировщик – ОАО «Минскметропроект».

На начальном этапе строительства ОАО «Минскметропроект» и ООО «Тоннельдорстрой» поставили перед собой задачи в области освоения прогрессивных технологий на прокладке тоннелей по внедрению:

- конструкции набрызг-бетонной анкерной первичной крепи в сочетании с механизированной комбайновой разработкой породы;

Схема продольного профиля с тектоническими зонами





- новых систем гидроизоляции для лотковой части тоннелей на участках геологических нарушений;

- новых систем заобделочного дренажа;
- современных конструкций инженерного оборудования с целью повышения безопасности тоннелей в процессе эксплуатации.

ООО «Тоннельдострой» приняло соответствующую программу технического перевооружения и в настоящее время обладает широким выбором современной высокопроизводительной техники для тоннельных работ. Высокая техническая оснащенность генподрядчика, накопленный им опыт ведения проходки в сложных инженерно-геологических условиях, позволили внедрить при строительстве тоннеля целый ряд новых технических решений, сведения о которых будут приведены ниже.

### Инженерно-геологические условия строительства

Заложение тоннеля предусмотрено до 200 м от поверхности земли.

Инженерно-геологические условия его сооружения соответствуют III категории сложности.

Тоннель находится в зоне влияния Воронцовского надвига (породы брекчированы, перемяты в разнонаправленные складки). Этот факт уже несет в себе большую опасность для инженерного сооружения.

Массив осложнен секущими тектоническими нарушениями. Тоннель пересекают семь зон таких нарушений, активных и в наше время. Средняя величина медленных (криповых) горизонтальных смещений 1 мм в год (max 4,6–7,5 мм), вертикальных – 0,5–0,7 мм в год (max 1,5–2,5 мм в год). Амплитуды возможных сейсмогенных смещений гор./верт. в среднем 0,3 м. В зонах нарушений прогнозируются повышенное выделение газов и водопритоки из глубинной части горного массива.

Приток вредных и токсичных газов при проходке тоннеля оценивается от 0,6 до 0,73 м<sup>3</sup>/мин. Для выполнения требований ПДК по CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> необходимо обеспечение подачи на забой до 82 тыс. м<sup>3</sup>/ч свежего воздуха.

Проектируемый тоннель располагается в области с высоким уровнем сейсмических воздействий. По результатам СМР на участках северного и южного порталов сейсмичность составляет 9 баллов, в центральной части тоннеля – 8 баллов.

Результаты анализа возможных механизмов генерации напряжений в массиве горных пород участка проходки тоннеля позволили сделать вывод, что уровень горизонтальных тектонических напряжений может превышать уровень гравитационных в несколько раз. Проявления этих напряжений наблюдались при проходке и мониторинге первичной крепи.

На ПК152 – ПК153 и на припортальных участках выявлены мощные водоносные зоны. Водопритоки к забою тоннеля – до 5 л/с и выше – в зависимости от степени вскры-

тия водоносных зон. При проходке предусмотрено раскрытие забоя по частям. На остальных участках тоннеля значительных водопроявлений не выявлено.

Подземные воды неагрессивны по сульфатам к бетонам марок W4, W6, W8 по водонепроницаемости, слабоагрессивны по С1 при постоянном погружении и сильноагрессивны при периодическом смачивании к арматуре железобетонных конструкций; но сильноагрессивны к их металлу.

По оси вентиляционного ствола № 8 выделяется сильнообводненный горизонт в интервале абс. отм. 215,6–191,4 м с удельным водопритоком до 54 м<sup>3</sup>/ч, приток струйный.

По трассе тоннеля выделяются зоны пучения (участки с содержанием в породе монтмориллонитовых глин, предрасположенных к пучению при проходке горных выработок и оплыванию при складировании в отвале), коэффициент Пуассона на этих участках – 0,3–0,4.

На участках порталов и площадках заложения вентиляционных стволов выявлены оползневые процессы с различной степенью опасности.

### Объемно-планировочное решение тоннельного участка

Тоннельный участок представляет собой комплекс подземных сооружений, функционально связанных между собой – транспортная часть (тоннель), штольня, стволы, сбойки, притоннельные сооружения.

В тоннеле предусмотрена двухполосная проезжая часть шириной 8,5 м для встреч-



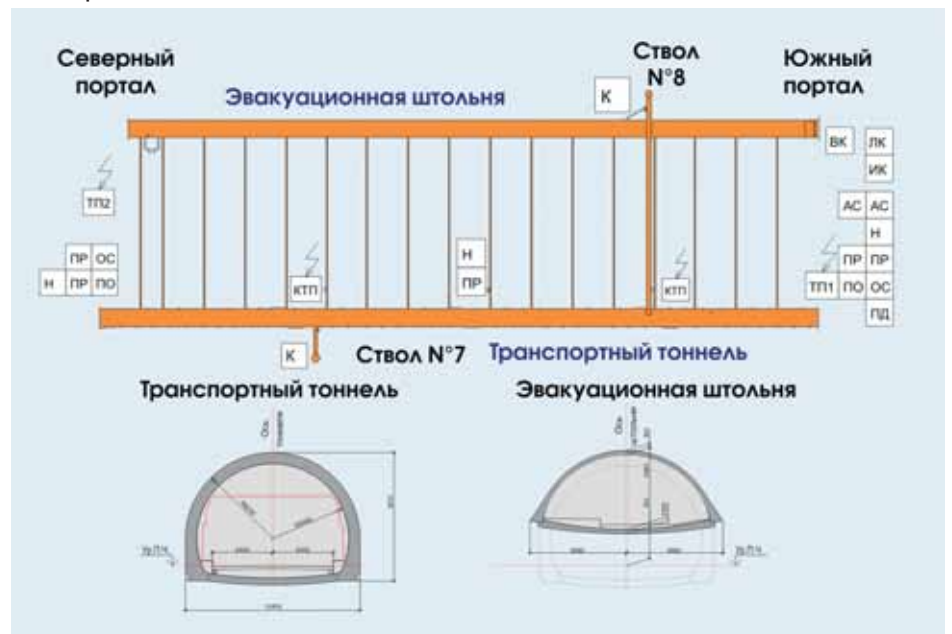
Оползневые процессы на Южном портале

ного движения. С каждой стороны от нее запроектированы служебные проходы шириной 0,75 м, возвышение их над проезжей частью составляет 0,4 м. В теле указанных пешеходных дорожек запланировано размещение электротехнических кабелей. Для этого в пешеходной дорожке предусмотрен канал, перекрытый сборными железобетонными плитами. Водоотвод из канала будет осуществляться через специальные отверстия в систему дренажа.

Параллельно тоннелю запроектирована штольня длиной 2518 м. Ее трасса проходит по оси, совпадающей с осью перспективного правого тоннеля в сечении его калотты. Штольня предназначена для эвакуации, подачи свежего воздуха в транспортную часть тоннеля, прокладки кабелей электроснабжения 10 кВ и пожарного водопровода диаметром 300 мм, а также для движения автомобилей АВР с боевыми расчетами пожарных к месту аварии. Таким образом, штольня характеризуется как многофункциональная.

Автомобильный тоннель и штольня соединяются между собой восемью совмещенными вентиляционно-эвакуационны-

Инженерная схема тоннеля № 6





Нанесение набрызг-бетона установкой Sika-PM500



Монтаж гидроизоляционной мембраны толщиной 1,5 мм

ми и девятью эвакуационными сбойками. Первые разделены сплошной перегородкой на эвакуационную и вентиляционную части. Сбойки различного назначения чередуются друг с другом. Таким образом, эвакуационные сбойки расположены с шагом 150 м, а вентиляционные – с шагом 300 м. Каждая из них отделена от тоннеля и штольни сплошными монолитными желе-

зобетонными стенами с эвакуационными проемами. В эвакуационных сбойках размещаются лестницы, ведущие на отметку уровня пола штольни, в вентиляционных – устанавливаются металлические стремянки с промежуточными площадками для эксплуатационного прохода в вентиляционный канал, расположенный над проезжей частью тоннеля.

Для удаления загрязненного воздуха при эксплуатации тоннеля, а также для обеспечения дымоудаления при пожаре, предусмотрено строительство двух подземных вентиляционных камер, двух вентиляционных стволов и вытяжного вентиляционного канала в верхней части тоннеля.

Над его проезжей частью сооружается перекрытие, которое вместе со сводом тоннеля образует вытяжной вентиляционный канал. Оно опирается на конструкцию тоннельной обделки посредством продольной штрабы, устраиваемой при бетонировании обделки, отделяет вытяжной вентиляционный канал от транспортной зоны и располагается над ней выше габаритов приближения строений. Удаление загрязненного воздуха и дыма осуществляется через два вентиляционных ствола – ствол № 7 глубиной 174,5 м и ствол № 8 глубиной 185,3 м. Они соединены с вентканалом и штольней тоннелями, на которых, в свою очередь, расположены вентиляционные узлы вытяжной вентиляции и дымоудаления. Выходы

из стволов на поверхность оформлены венткиосками.

Камеры приточной вентиляции на Северном и Южном участках предусмотрены в наземном решении. Свежий воздух подается через порталы штольни, нагнетается по штольне и вентиляционным сбойкам в тоннель.

Насосные станции располагаются: одна – на припортальной площадке со стороны Южного портала, вторая – в общем объеме с пожарным резервуаром, под плитой перекрытия, являющейся полом сбойки на ПК149+93,400, третья – на припортальной площадке со стороны Северного портала.

В тоннеле предусмотрено сооружение камер с каждой стороны проезжей части через 300 м и ниш между ними через 60 м в шахматном порядке. Камеры глубиной 2000 мм, шириной 2000 мм и высотой 2500 мм. Ниши запроектированы с габаритами 1000 × 2000 × 2500 мм. Камеры и ниши служат для размещения электротехнического, сантехнического оборудования, пожарных шкафов, а также аппаратуры управления и контроля систем жизнеобеспечения тоннеля.

В тоннеле предусмотрены местные уширения с площадками для аварийной остановки транспортных средств. Длина каждой – 54 м, ширина – 2,75 м.

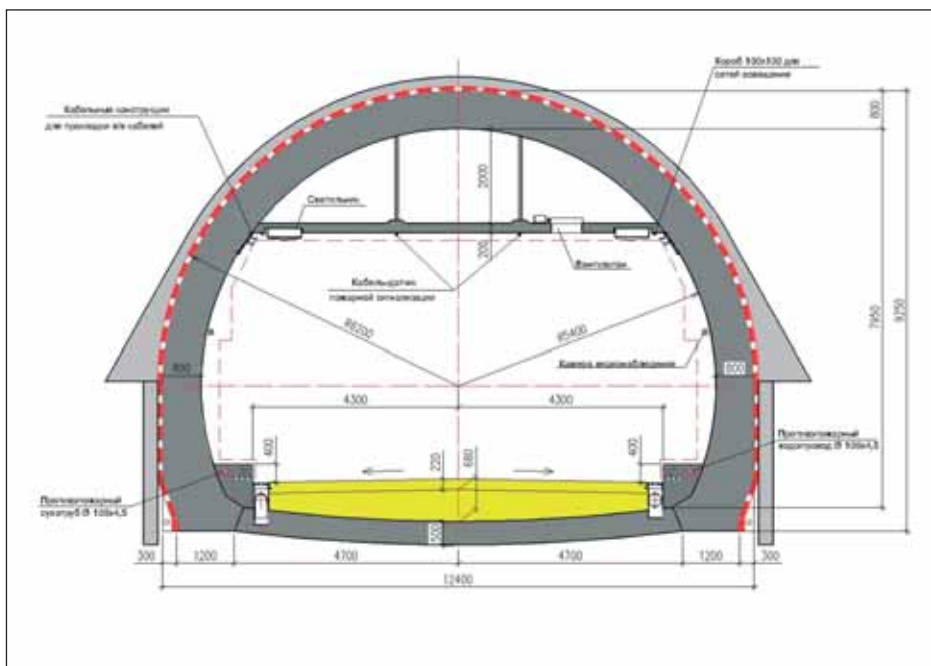
### Реализация проектных решений в строительстве

Проходка тоннеля ведется по частям: калотта, с отставанием от нее ядро и штроссы. При проходке калотты применяется крепление выработки набрызг-бетоном по арматурной сетке и использование армоарок в качестве пространственных каркасов с расчетным насыщением арматурой набрызг-бетонной обделки. Кроме того, предусмотрено применение сталебетонных анкеров длиной 4,5–12 м, обеспечивающих формирование армированной породы в пределах свода обрушения над выработкой. Несущие анкера устраиваются при помощи установки Atlas Corco Boltex LD.

Внутренний габарит временной обделки из набрызг-бетона принят увеличенным на 200 мм по сравнению с наружным размером постоянной конструкции тоннеля на данных пикетах. Такое решение вызвано характером и величиной деформаций, наблюдаемых в процессе предыдущей проходки штольни и тоннеля. Кроме того, при сооружении калотты, обделка предусматривается замкнутого сечения, с возведением монолитного железобетонного обратного свода, обеспечивающего устойчивость временной обделки в условиях неравномерного тектонического горного давления.

Разработка и погрузка породы производится при помощи комбайна WIRT-Paragat T3.20 заходками по 1 м, а также используется породопогрузочная машина ПНБ. Транспортировка грунта в отвал осуществляется автопоездами МоА3-7405-9586. Поскольку аргиллиты, составляющие породный массив, подвержены быстрому разрушению под воз-

Сечение тоннеля



действием влаги, непосредственно после отработки очередной заходки на стены, свод и лоб забоя выработки наносится набрызг-бетон толщиной 70 мм при помощи установки Sika-PM500. Для обеспечения устойчивости лба забоя были предусмотрены фиберглассовые анкеры.

Арматурная сварная сетка крепится к выпускам сетки предыдущей заходки и прижимается к породе армоаркой, состоящей из трех сегментов. Послойно, за два-три прохода, наносится набрызг-бетон временной крепи, толщина которого варьируется в зависимости от инженерно-геологических условий от 300 до 500 мм.

Состав набрызг-бетонной смеси подбирается при участии специализированной организации. Так, белорусская компания «Феликс» с технической поддержкой фирмы «Sika» осуществила поставку оборудования, подбор состава смеси и добавок для набрызг-бетона, ускоряющие его схватывание и твердение.

Для нанесения набрызг-бетона на свод калотты его прочность через 2 мин должна быть от 0,1 до 0,2 МПа и она не должна быть превышена, поскольку при слишком быстром наборе прочности в первые минуты смесь схватывается непосредственно после нанесения на стену, и ее следующие крупные частицы плохо сцепляются с только что нанесенным слоем. Это приводит к большому отскоку и пылеобразованию.

На опытном участке были отработаны вопросы, связанные с мониторингом проходки (наблюдениями за состоянием временной крепи и горного массива). В процессе его проведения получены данные о перемещении временной крепи в характерных точках, о взаимном смещении этих точек относительно друга друга, величинах напряжений в набрызг-бетоне временной крепи и заобделочном породном массиве на различных удалениях от забоя.

При проходке калоттной части достигнута скорость 90–100 м/мес.

Обделка автодорожного тоннеля приняты замкнутой конструкции из монолитного железобетона и, в зависимости от меняющихся по трассе инженерно-геологических условий, предусмотрены нескольких типов. Основной – подковообразная обделка с радиусом кривизны в лотке 33,9 м. Толщина стен и свода в шельге – 700 мм, обратного свода – 500 мм. Обделка облегченная и разработана для сооружения тоннелей в грунтах с коэффициентом крепости по Протодьяконову  $f = 2-4$ . Усиленный тип – подковообразная обделка с радиусом кривизны в лотке 33,9 м. Толщина стен и свода в шельге 800 мм, обратного свода – 500 мм. Конструкция усиленная, создана для проходки тоннелей в грунтах с коэффициентом крепости по Протодьяконову  $f = 1,5$  и в зонах разломов.

Внутренний диаметр вытяжных стволов № 7 и 8 принят 5500 мм.

Подземные вентиляторы, предназначенные для размещения вентиляторов вытяжной вентиляции, состоят из двух перпендикулярно расположенных подковообразных обде-

лок с обратным сводом, пролетами 8000 и 9300 мм. Толщина стен и свода в шельге 700 мм, лотка – 500 мм. Радиус кривизны свода составляет 4,0 и 4,7 м.

Гидроизоляция тоннеля предусмотрена пленочная из геосинтетиков. В качестве материала принята геомембрана.

Конструкция гидроизоляции по своду и стенам тоннеля включает в себя:

- подкладочный слой из геотекстиля массой  $500 \pm 50$  г/м<sup>2</sup> толщиной 4 мм, который крепится к бетону черновой обделки с помощью пластиковых ронделей, пристреливаемых дюбелями. Слой геотекстиля одновременно является дренажным;
- геомембрану толщиной 1,5 мм, которая приваривается при помощи горячего воздуха к ронделям.

Геомембрана защищается монолитной железобетонной конструкцией постоянной обделки тоннеля.

Гидроизоляционная мембрана разделяется на карты площадью не более 200 м<sup>2</sup> путем приварки к ней специального профиля – гидрошпонок с установкой инъекционных трубок для ликвидации возможных протечек посредством нагнетания специальных составов в случае локального повреждения геомембраны. Инъекционные трубки привариваются к ней точечной приваркой и выводятся на лицевую сторону конструкции.

Водонепроницаемость и целостность гидроизоляции в деформационных швах обеспечивается применением специальных профилей – гидрошпонок, которые свариваются с основной гидроизоляцией и имеют повышенную деформируемость.

По всей длине в уровне лотка постоянной обделки с наружной стороны стен тоннеля устраивается попутный дренаж, отводящий по геотекстилю воду и снимающий гидростатическое давление. Дренаж представляет собой полиэтиленовую гофрированную двухслойную трубу, обернутую геотекстилем. В каждой камере и нише предусмотрены колодцы для обслуживания и прочистки заобделочного дренажа.

Тоннель оборудован системой водоотводных устройств с проезжей части, обеспечивающих отвод дренажных, сточных, мочных и сточных вод при тушении пожара.

Водоотвод предусмотрен через водоприемные решетки, расположенные по краям проезжей части и далее по трубам в припортовых лотки.

Тоннель оснащен также всеми необходимыми системами жизнеобеспечения, безопасности и автоматизированной системой

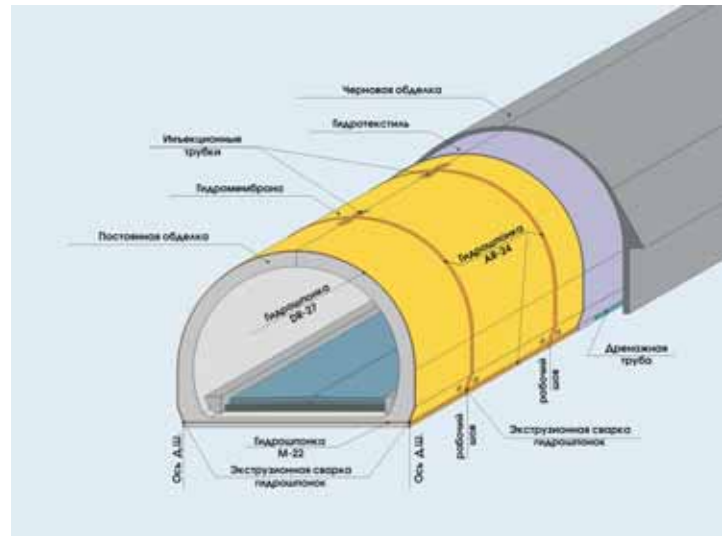


Схема устройства гидроизоляции

управления ими – АСУ-ТП. Их разработку выполнило ОАО «Ленметрогипротранс».

Для эффективной и безопасной эксплуатации тоннель, штольня, сбойки и подземные притоннельные сооружения оборудованы комплексом систем активной противопожарной защиты (СПЗ).

Въезды в тоннель оснащены системой заградительной сигнализации, состоящей из светофора, автоматического шлабгаума и информационного светового табло «В тоннеле авария».

*Р.С.* Опыт рабочего проектирования, корректировки инженерного проекта показал, что основной нормативный документ – СНиП 32–04 содержит недостаточный объем требований, регламентирующих расчетные положения, тоннельную вентиляцию и пожарную безопасность, и не распространяется на городские транспортные тоннели. В то же время специалисты Главгосэкспертизы РФ, рассматривая инженерные проекты, однозначно классифицировали обход г. Сочи как городскую магистраль.

В настоящее время пробелы в нормативной базе восполняются путем создания специальных технических условий на проектирование транспортных тоннелей. По моему мнению, создание СТУ в некоторых случаях приводит к неоправданному увеличению сроков проектирования и другим издержкам. При этом субъективный фактор не устраняется, а ответственность за принятые решения распределяется на участников разработки СТУ.

Необходимо инициировать создание «Правил по изысканиям и проектированию автодорожных и железнодорожных тоннелей» в рамках деятельности саморегулируемой профессиональной организации проектировщиков тоннелей, учитывающих накопленный опыт проектирования городских тоннелей в г. Москве, а также автодорожных и железнодорожных на Кавказе. Целесообразно нормативные требования по инженерному оборудованию, компоновке тоннелей и пожарной безопасности разделить по классификации, основанной на интенсивности движения, вероятности возникновения ЧС и рисков, возникающих в этих случаях.



# УНИКАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ И ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

С. В. Ломбас, директор ГУП «Ленгипроинжпроект»



Рис. 1. Шахта ПГКС, пройденная стволопроходческим комплексом "Herrenknecht" (D – 7,3 м; Н – 74,5 м)

**Санкт-Петербургское государственное унитарное предприятие «Проектный институт по проектированию городских инженерных сооружений «Ленгипроинжпроект» является ведущей организацией Санкт-Петербурга по комплексному проектированию инженерных сооружений, сетей и коммуникаций. В 2009 г. ГУП «Ленгипроинжпроект» отмечает свое 55-летие. Сегодня институт – это современно оснащенная, конкурентоспособная проектная организация, располагающая коллективом высококвалифицированных специалистов, обширной справочно-информационной и нормативно-технической базой, архивом топогеодезических, инженерно-геологических и других материалов.**

Статус государственной проектной организации ГУП «Ленгипроинжпроект» получило 24 марта 1954 г. История института началась с решения проблем газификации. Перед коллективом тогда была поставлена сложнейшая задача – в короткие сроки обеспечить проектно-сметной документацией строительство системы газоснабжения Ленинграда, а также перевод жилого фонда, промышленных и коммунально-бытовых предприятий города на использование газового топлива. Впервые в отечественной практике, а во многом и в мировой, создавались расчетная база, нормативы системы безопасности, конструкции газогорелочных устройств, газорегулирующего и газоиспользующего оборудования. Запроектированная трехступенчатая система газоснабжения Ленинграда обеспечила надежный и безопасный прием городом сланцевого газа, а затем бесперебойный перевод на смешанный, а позднее и на природный газ. За сравнительно короткий срок институт успешно выполнил генеральные схемы газоснабжения Ленинграда и других крупнейших городов СССР.

В настоящее время ГУП «Ленгипроинжпроект» твердо сохраняет свои позиции и репутацию наиболее прогрессивной организации в вопросах проектирования газоснабжения на всех стадиях. В 2007–2008 гг. институт выполнил «Генеральную схему газоснабжения г. Санкт-Петербурга на период

до 2015 года с учетом перспективы развития до 2025 года».

Помимо газовых сетей, по проектам института прокладывались новые магистрали, набережные, тоннели, коммуникации, возводились мосты, транспортные и пешеходные развязки, уникальные очистные сооружения канализации и водопровода, совершенствовались инженерно-транспортная инфраструктура центральных районов города, осуществлялось инженерное обеспечение районов массовой жилой застройки и промышленных зон Ленинграда. Во многом благодаря профессиональным и целенаправленным усилиям специалистов Ленгипроинжпроекта постоянно улучшалось качество жизни горожан, обеспеченность города энергоресурсами и водой приблизилась к нормативному уровню.

За свою более чем полувековую историю был накоплен огромный опыт проектирования объектов городской инфраструктуры.

В настоящий момент ГУП «Ленгипроинжпроект» проектирует тоннели различного назначения; комплексы головных очистных сооружений водопровода и канализации и их отдельные элементы; городские магистрали и проезды с их полным обустройством; мосты, путепроводы, транспортные и пешеходные развязки, набережные; все виды инженерных сетей и коммуникаций, таких как водоснабжение, канализация, теплотрассы, газопроводы, кабельные линии, техниче-

ские средства регулирования; газоснабжение предприятий и котельные; трамвайные пути, контактные сети трамвая и троллейбуса; разрабатывает защиту подземных сооружений от электрокоррозии.

Имея богатые традиции и сохраняя их преемственность, руководство института сознает при этом необходимость постоянного развития. В 2004 г. был получен и с тех пор ежегодно подтверждается сертификат BVQI на соответствие системе менеджмента качества требованиям международного стандарта ИСО 9001:2000.

Новейшая история Ленгипроинжпроекта богата событиями, напрямую связанными с упомянутым принципом преемственности. Так, важным событием для института стало создание в 2002 г. отдела тоннельных сооружений. Ранее проекты подземных сооружений выполнялись силами группы тоннельщиков при отделе мостов. В данной статье, с учетом «подземной» специфики журнала «Метро и тоннели», делается акцент на то, какое развитие получило в институте направление проектирования подземных сооружений с момента создания отдела в качестве самостоятельного структурного подразделения.

Известное изречение гласит – кадры решают все. Сознавая это, руководство института сумело в короткие сроки решить задачу привлечения во вновь созданный отдел профессиональных проектировщиков из раз-

ных организаций. Столь значительное усиление «тоннельного» направления позволило институту активно включаться в конкурсы по проектированию самых сложных, с точки зрения инженерных решений, подземных объектов в разных городах России и побеждать в них.

Время показало – отделу тоннельных сооружений быть! Его штат сегодня составляет 70 человек, среди них специалисты по организации работ, конструкторы, экологи, сметчики, механики, дорожники, сектор научного сопровождения. Отдел проектирует тоннели различного назначения – транспортные, коммуникационные, гидротехнические и пешеходные. Институт ГУП «Ленгипроинжпроект» по праву гордится сегодня своим вкладом в проектирование многих подземных объектов Санкт-Петербурга и других городов, ставших незаменимыми элементами городской инфраструктуры. Вот некоторые из них:

- первый пусковой комплекс «Продолжение главного коллектора канализации северной части Санкт-Петербурга от Финляндского моста до Кантемировской ул. (ПГКС)». Комплекс – это две нитки тоннеля длиной по 12 км, одна уже эксплуатируется. При проектировании было принято нестандартное решение, а именно, опустить коллектор ниже тоннелей метрополитена и несвязных водонасыщенных грунтов и запроектировать уникальное сооружение – тоннель-дюкер, не имеющий аналогов в мировой практике (рис. 1);

- расширение пешеходных переходов станции «Купчино» Петербургского метрополитена. На объекте были реализованы сложные проектные и технологические решения, поскольку работы по расширению переходов должны были проходить без перерыва железнодорожного движения. Проходка тоннелей велась с применением опережающей крепи из стальных труб, заполненных бетоном с армокаркасами (экран из труб), (рис. 2, 3);

- автодорожный тоннель участка КАД Санкт-Петербурга в створе Токсовской ул. Здесь выполнены проектные работы по устройству экрана из труб D 820 и 1200 мм, по системам ливневой канализации, водоснабжения, электроснабжения и наружного освещения тоннеля;

- канализационные коллекторы глубокого заложения диаметром от 1200 до 2000 мм, сооруженные методом микротоннелирования общей протяженностью 22,2 км;

- регулирующий резервуар из сборных железобетонных тубингов D 7,9 м поверхностного стока транспортной развязки КАД Санкт-Петербурга на проспекте Обуховской обороны и др. (рис. 4).

Успешное освоение институтом «подземной» тематики не осталось без внимания – в 2008 г. ГУП «Ленгипроинжпроект» был награжден Почетным дипломом как победитель конкурса «Внедрение передовых технологий при освоении подземного пространства» (рис. 5).



Рис. 2. Расширенные тоннельные переходы станции метро «Купчино»

Рис. 3. Экран из труб

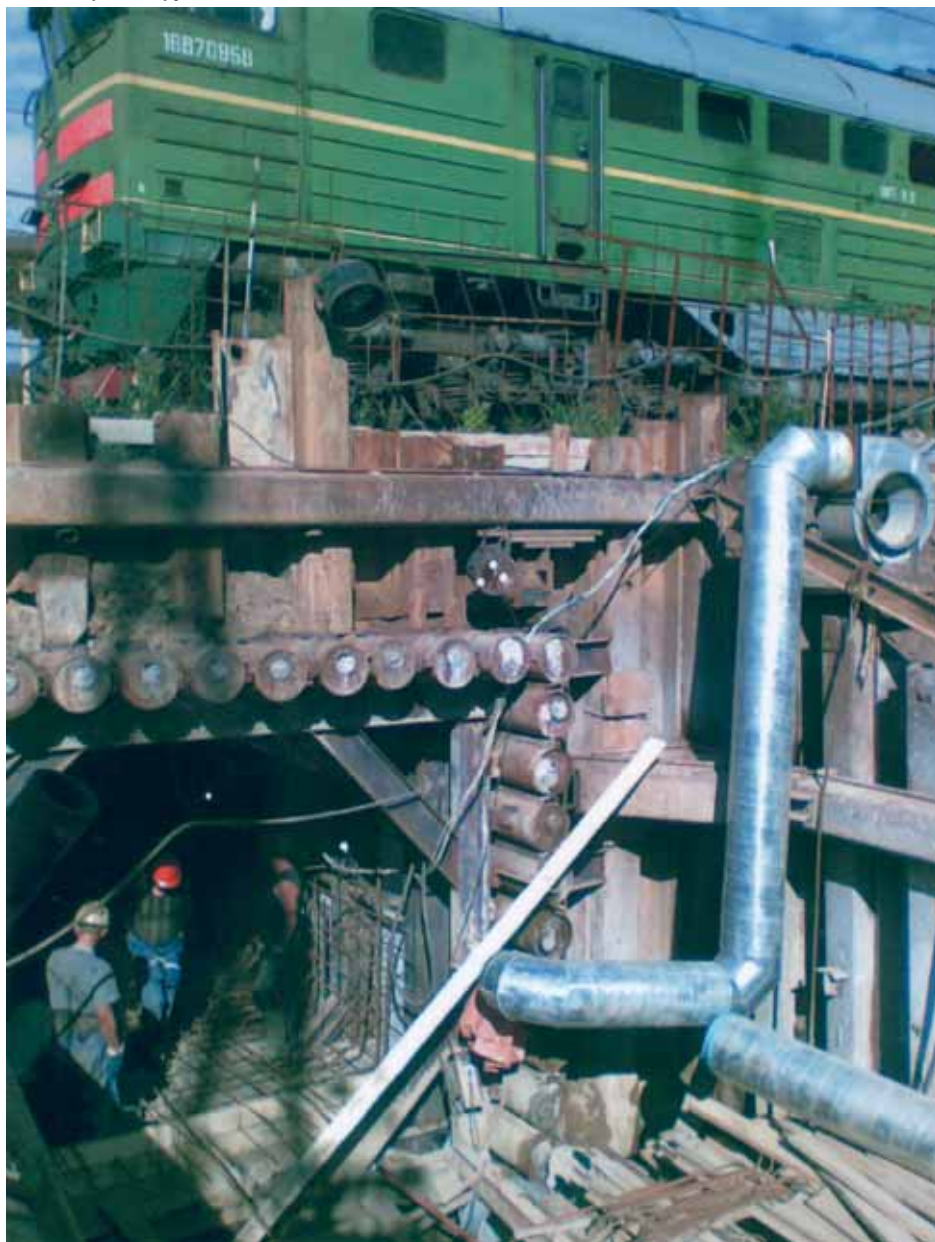




Рис. 4. Резервуар D 7,9 м

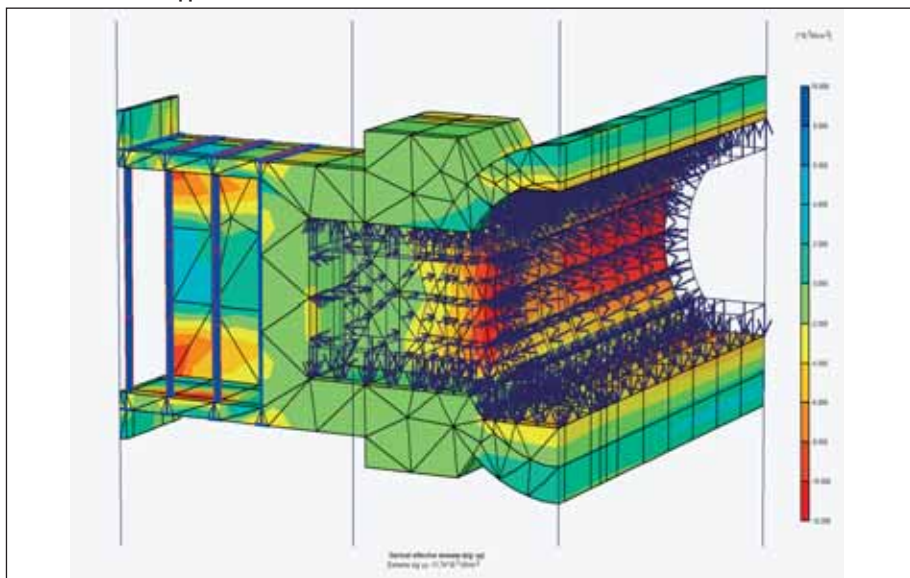


Рис. 5. Диплом

Конкурс проводился по инициативе Федерального агентства по строительству и ЖКХ Департамента градостроительства г. Москвы, Тоннельной ассоциации России и Выставочной компании «Глобал Экспо». Конкурсной комиссией рассматривался проект проходки вертикальных горных выработок (стволы шахт № 431 и 441А) для строительства продолжения главного коллектора северной части Санкт-Петербурга с использованием механизированного стволотехнологического комплекса VSM 7700/5500 «Herrenknecht». Проект проходки был выполнен отделом тоннельных сооружений ГУП «Ленгипроинжпроект». Партнерами в данной работе стали компании ООО «Стис» и «Herrenknecht». Указанные шахты вошли в первый пусковой комплекс сдачи в эксплуатацию в 2008 г.

Исходя из инженерно-геологических условий, в проекте первоначально было предусмотрено в качестве временного крепления созда-

Рис. 6. Модель 3D фрагмента ПГКС



ние ледогрунтового ограждения толщиной 3 м для обеспечения безопасности условий производства горных работ.

Однако в связи с появлением новых технологий, материалов и оборудования было принято решение о строительстве ствола шахты № 431 в сборной высокоточной водонепроницаемой железобетонной обделке. Специально для условий Санкт-Петербурга «Herrenknecht» разработал и изготовил машину, позволяющую вести проходку стволов глубиной до 85 м по безлюдной технологии без применения спецспособов. После организации стройплощадки сооружались буросекущиеся сваи крепления стартового котлована, а также сваи для устройства фундамента под опорную металлоконструкцию. Для обеспечения устойчивости дна ствола при проведении работ, в нем постоянно поддерживался уровень воды выше уровня грунтовых вод. Разработка пород выполнялась комбайном заходками по 1 м с откачкой их вместе с водой на поверхность в сепарационную установку и далее в отстойник. После погружения ствола на 1 м с помощью подъемного крана и специальных грузоподъемных средств, расположенных на опорной раме, производился монтаж очередного кольца специальной железобетонной водонепроницаемой обделки.

В результате, в отличие от традиционного способа замораживания, практически не потребовалась перекладка коммуникаций в зоне проходки ствола, горнопроходческие работы велись без присутствия персонала в забое, осадок дневной поверхности не наблюдалось. При этом, что особенно важно, время сооружения ствола с обычных 12–13 мес. было сокращено до восьми, а общую стоимость объекта даже удалось снизить, по сравнению со сметой по способу замораживания. На практике было доказано, что метод обеспечивает надежное и эффективное выполнение проходки, является экономически выгодным и позволяет решать сложные задачи в более короткие сроки.

Новый опыт, приобретенный институтом в проектировании подземных сооружений, позволяет братья не только за сложные в инженерном отношении проекты, но и за те, которые имеют исключительное значение для успешного проведения крупнейших международных мероприятий, таких как Олимпийские игры-2014. Так, самым престижным для института сегодня является «Олимпийский» проект в городе Сочи. Он подразумевает реконструкцию и расширение очистных сооружений Бзугу до 140 тыс. м<sup>3</sup> в сутки с самотечными канализационными коллекторами: подающим – от стадиона до очистных сооружений Бзугу и отводящим – от очистных сооружений Бзугу с глубоководным выпуском в море.

Инженеры Ленгипроинжпроекта при проектировании тоннельных сооружений активно применяют в своей работе современные программные комплексы, такие как Plaxis 3D Tunnel. Например, для расчета крепи (обделки) ПГКС при сопряжении со штольной была создана трехмерная компьютерная модель, характеризующая основные параметры напряженно-деформированного состояния сооружения (рис. 6).



*Поздравляем  
Давида Яковлевича Френкеля –  
генерального директора  
ООО НПК «Монофлекс Френкеля»*

*Пользуясь любезно предоставленной редакцией журнала «Метро и тоннели» возможностью выступить на его страницах, Академия инженерных наук объявляет об избрании своего нового члена – академика Д. Я. Френкеля и искренне поздравляет его с этим почетным званием. Звание академика АИН – достойное признание почти 40-летней научно-исследовательской деятельности г-на Френкеля по созданию специальных материалов и технологии их использования на объектах подземного транспортного и наземного строительства, успешно себя зарекомендовавших и престижно конкурирующих с другими технологиями, применяемыми в этой сфере.*

*Свидетельством тому являются многочисленные авторские свидетельства на изобретения, патенты РФ, Белоруссии, США, многочисленные публикации, но, главное, практическое подтверждение эффективности внедрения разработок, в частности, в метростроении Минска, Санкт-Петербурга, Москвы и в других городах. Академиком Д. Я. Френкелем созданы принципиально новые конструктивные решения по чеканке стыков элементов тоннельной обделки, контрольному нагнетанию в заобделочное пространство. Предложенные им специальные материалы и технологические приемы обеспечивают эксплуатационную долговечность конструкций тоннельной обделки, их водонепроницаемость с одновременным сокращением трудовых затрат и времени.*

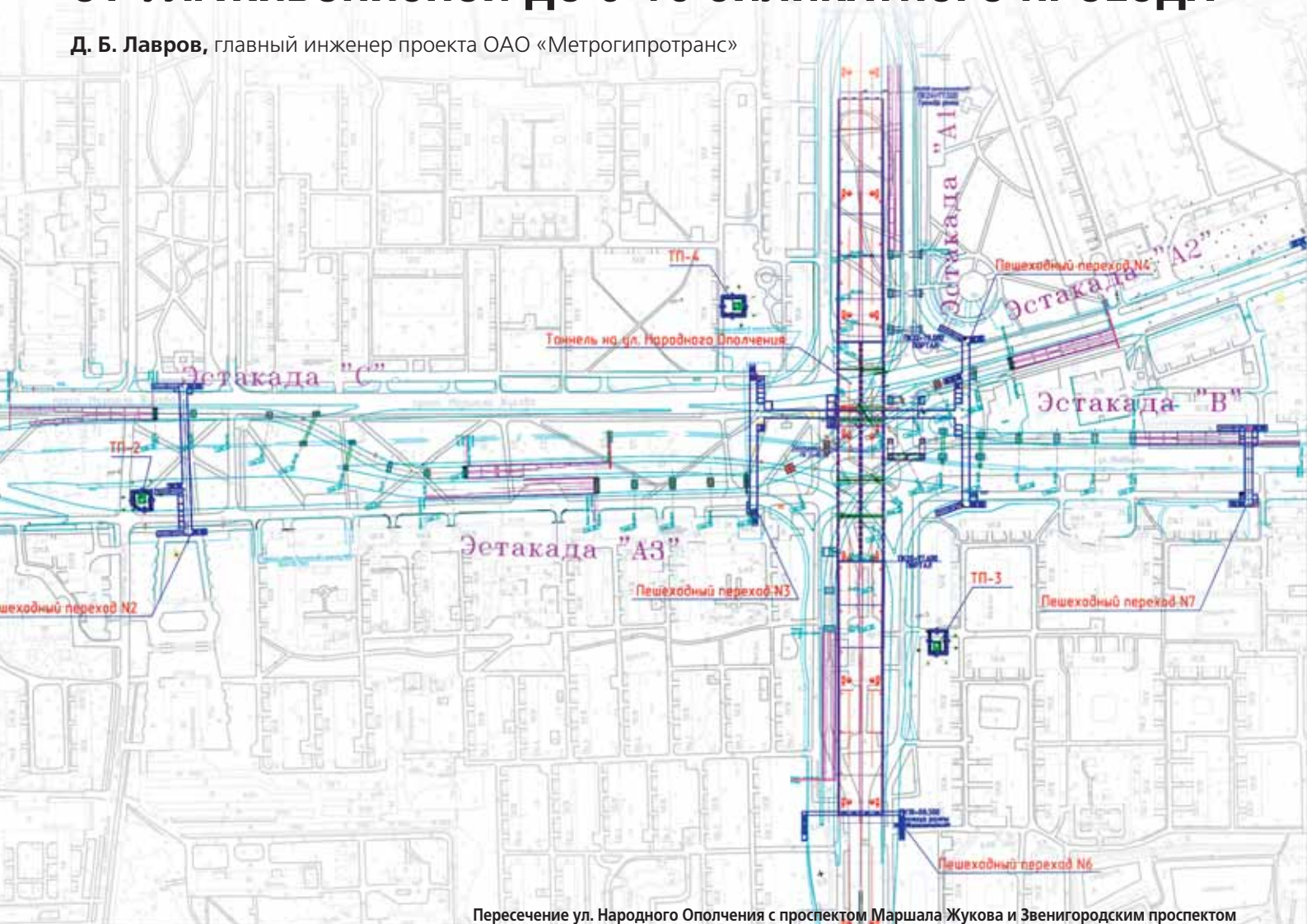
*Практика внедрения материалов и технологии «Монофлекс-Френкеля» на Московском, Минском, а сейчас и при строительстве Екатеринбургского метрополитенов освещалась на многочисленных научных конференциях. Например, только за последние два года были сделаны научные доклады на Международных конференциях в Дубае (ОАЭ) и Лиссабоне, а также на 3-м Всемирном съезде инженеров в Рио-де-Жанейро, где неизменно вызвали повышенный интерес к нетрадиционному подходу и оригинальным конструктивно-технологическим решениям инженерных вопросов в метро- и тоннелестроении. Еще раз поздравляя Д. Я. Френкеля с почетным званием академика АИН, желаем ему новых творческих успехов и крепкого здоровья.*

*Исполнительный директор АИН  
А. А. Сабко*

*Тоннельная ассоциация России и редакция журнала «Метро и тоннели» присоединяются к этому поздравлению и желают Давиду Яковлевичу дальнейших научных свершений.*

# НОВАЯ ТРАССА ЗВЕНИГОРОДСКОГО ПРОСПЕКТА ОТ УЛ. ЖИВОПИСНОЙ ДО 3-го СИЛИКАТНОГО ПРОЕЗДА

Д. Б. Лавров, главный инженер проекта ОАО «Метротранс»



Пересечение ул. Народного Ополчения с проспектом Маршала Жукова и Звенигородским проспектом

**В** настоящее время в западном и северо-западном секторах Москвы существует дефицит как радиальных, так и кольцевых (распределительных) магистралей. В связи с этим существующие трассы несут значительную нагрузку по пропуску потоков транспорта и эксплуатируются либо на пределе пропускной способности, либо уже исчерпали ее.

Это относится к Кутузовскому проспекту, который практически на всем протяжении работает в режиме непрерывного движения.

Перегружена транспортными потоками и МКАД на участке от Новорижского до Рублевского шоссе в одну сторону и до Волоколамского в другую.

Идея формирования нового радиального направления в западном секторе города в дополнение к существующим Минскому, Ленинградскому и Волоколамскому шоссе присутствовала на всех этапах разработки перспективных схем магистралей Москвы.

Однако проблема формирования целостного радиального направления обострилась в условиях резкого роста автомобильного парка на фоне сложившегося дефицита протяженности магистралей.

Участок Краснопресненского проспекта от ул. Живописной до 3-го Силикатного проезда является связующим звеном между двумя уже построенными участками Звенигородского проспекта: МКАД – ул. Живописная; эстакады от 3-го Силикатного проезда до ул. 1905 года, которые образуют новое радиальное направление.

Новая трасса Звенигородского проспекта проходит по ул. Мневники, пересекает ул. Народного Ополчения, далее по проспекту Маршала Жукова и предусматривает устройство современной безсветофорной магистрали шириной 30–45 м (четыре-шесть полос движения в каждую сторону).

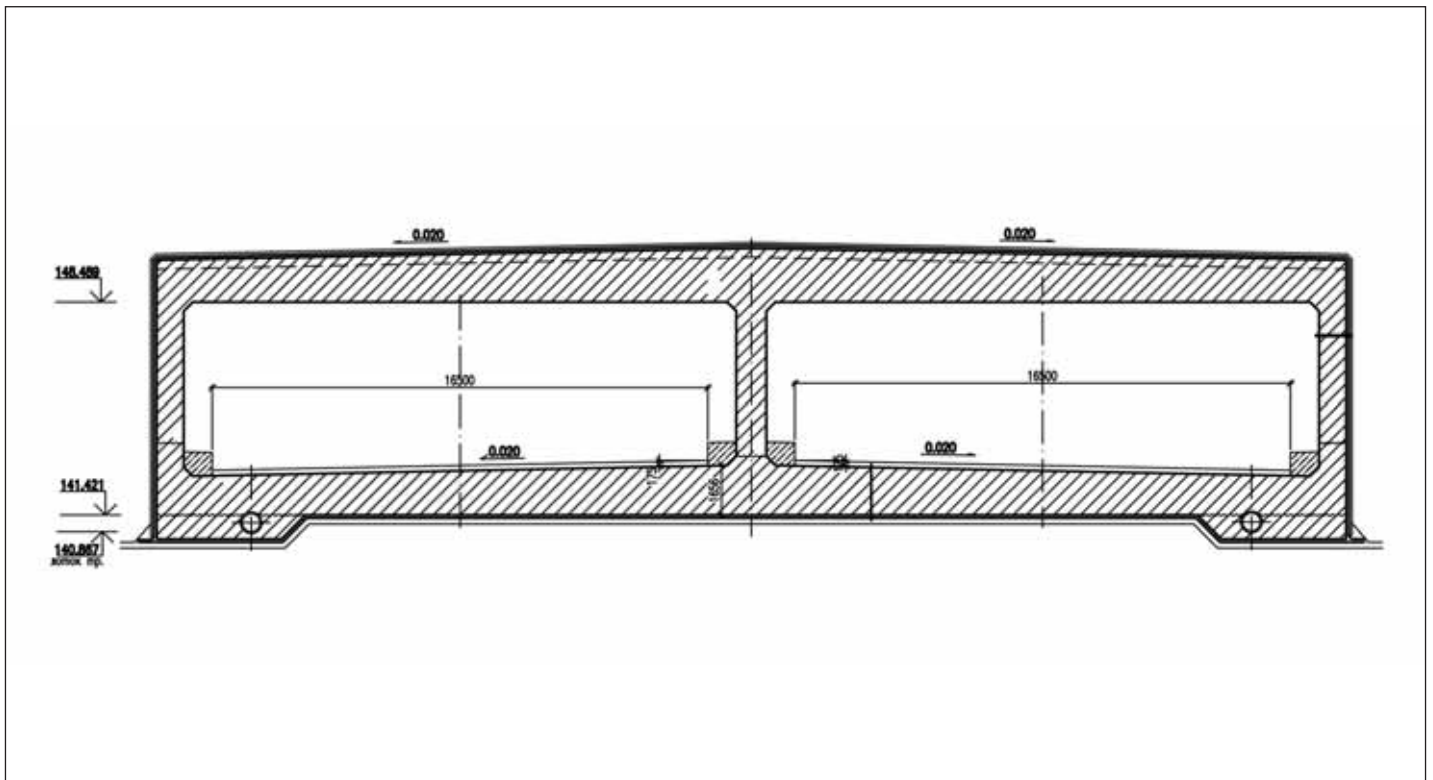
В состав объекта входят: одиннадцать пешеходных переходов, три эстакады, два автодорожных тоннеля и коммуникацион-

ный коллектор протяженностью 2,5 км, семь трансформаторных подстанций, две тяговые подстанции для троллейбусов, здание конечной станции городского пассажирского транспорта. Кроме того, предусматривается снос пяти жилых домов и переустройство большого количества инженерных коммуникаций.

Наиболее сложным участком магистрали является пересечение Звенигородского проспекта с ул. Народного Ополчения (будущим участком 4-го транспортного кольца), где сооружается трёхуровневая транспортная развязка. В первом уровне уже построен автодорожный тоннель, обеспечивающий четырёхполосное движение автотранспорта в каждую сторону по ул. Народного Ополчения.

В его перекрытии запроектирован пешеходный тоннель. Он соединит два пешеходных перехода, находящихся по разные стороны от ул. Народного Ополчения. Из пешеходного предусмотрен вход в притоннельные сооруже-





Сечение автодорожного тоннеля на ул. Народного Ополчения

ния автодорожного тоннеля, основной конструктивной особенностью которого является то, что на него опираются опоры эстакад.

Основанием опор служат подземные ригели из преднапряжённого монолитного железобетона, которые и передают нагрузку на стены автодорожного тоннеля через подферменники (проект ЗАО «Институт ПРОМОС»). Кроме того, автодорожный тоннель и опоры эстакад запроектированы таким образом, чтобы в перспективе можно было выполнить проходку перегонных тоннелей линии метрополитена и возведение двух станционных комплексов Калининской линии метрополитена.

Над автодорожным тоннелем в уровне земли проходит трасса Звенигородского проспекта.

Для съездов с него используются эстакады шириной 10–12 м, которые опираются на перекрытие автодорожного тоннеля и обеспечивают движение транспорта из центра с Звенигородского проспекта в сторону ул. Крылатская, и съезд в сторону района Сокол в обратном направлении.

Территория строительства объекта значительно ограничена жилой застройкой, существующими инженерными коммуникациями и автомагистралью.

В связи с этим сооружение автодорожного тоннеля на ул. Народного Ополчения велось в особо стеснённых условиях. Одновременно на одном участке в непосредственной близости от котлована автодорожного тоннеля глубиной до 16 м бурились сваи диаметром 1200 мм для эстакад, выполнялась прокладка инженерных коммуникаций с глубиной заложения до 12 м, а также велось строительство пешеходного перехода.

Крепление котлована выполнено из буросекующихся свай с устройством жёсткой связи в виде плиты в районе притоннельных со-



Готовый тоннель

оружий; из-за большого количества существующих и проектируемых коммуникаций, находящихся на разной глубине, вблизи котлована и участка устройства свай для опор эстакад, практически вплотную к ограждающим конструкциям тоннеля, было принято крепление котлована расстрелами с промежуточными сваями перекрепления.

Одной из основных проблем строительства была организация движения автотранспорта на пересечении фактически трёх направлений – проспект Маршала Жукова, ул. Народного Ополчения и ул. Мневники. В связи с этим проектом организации работ предусматривались комплексные схемы в узвке одновременного строительства инженерных

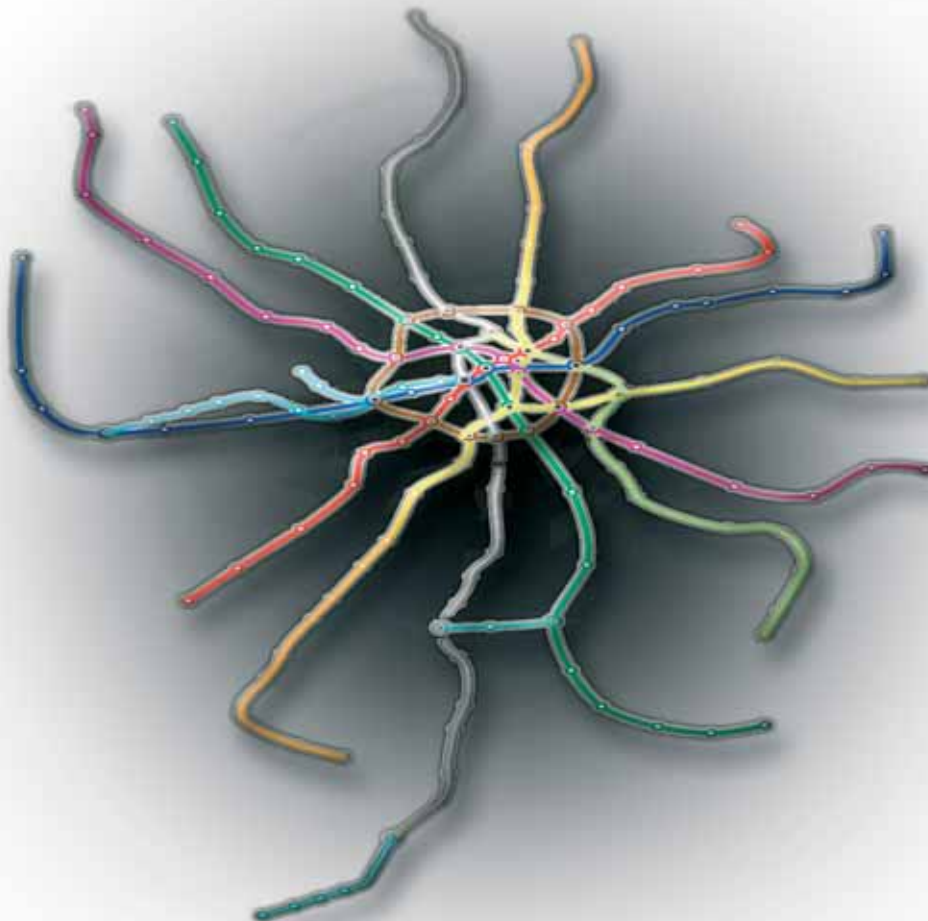
коммуникаций, подземных пешеходных переходов, эстакад и автодорожного тоннеля. Перед их реализацией проводилось компьютерное моделирование потоков и выбор наилучшего варианта организации движения.

В настоящий момент реализован комплексный проект организации дорожного движения, который предусматривает эксплуатацию тоннеля по временной схеме, что даёт возможность вести работы по возведению эстакад над автодорожным тоннелем и значительно снижает транспортную нагрузку в районе строительства.

Полностью прокладка автомагистрали на данном участке должна завершиться в конце текущего года.

# ПРИНЦИПЫ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МОСКВЫ В УВЯЗКЕ С ЛИНИЯМИ МЕТРОПОЛИТЕНА

С. Н. Власов, Е. В. Петренко, И. Е. Петренко, И. Л. Писарев



**А**ктуальность освоения подземного пространства, дефицит земельных участков обуславливают необходимость активного освоения подземного пространства столицы.

Согласно Концепции развития подземного пространства, которую одобрило правительство Москвы в мае 2007 г., объемы подземной застройки к 2010 г. должны вырасти до 1 млн м<sup>2</sup> площадей в год. Всего же за три года в Москве намечается построить не менее 2,5 млн м<sup>2</sup> объектов различного назначения. Решение этой задачи возможно посредством инновационного развития с использованием принципов комплексного использования подземного пространства Москвы в увязке с линиями метрополитена и требованиями промышленной безопасности строительства подземных объектов.

На современном этапе градостроительного развития Москвы в условиях сокращения территориальных резервов в целях устойчивого роста города необходимы опережающие темпы освоения подземного пространства.

Тоннельная ассоциация России сформулировала его основные принципы:

1. Комплексность использования подземного пространства.

2. Учет при проектировании социального значения строительства подземных объектов и экологическая направленность подземного строительства.

3. Геотехнические условия и промышленная безопасность при комплексном освоении подземного пространства.

4. Организация строительства ряда подземных объектов, объединяемых в единое многофункциональное предприятие с учетом интересов заинтересованных организаций.

Московским государственным строительным университетом разработаны и сформулированы основные направления подземной урбанизации Москвы. В них вошли сооружения:

- транспортной инфраструктуры;
- общественного назначения;
- инженерной инфраструктуры;
- энергетики.

Освоение подземного пространства Москвы сдерживается следующими факторами:

- недостаточной изученностью грунтов;
- неустойчивостью и обводненностью массива горных пород, в которых намечается возведение подземных объектов;
- необходимостью выноса с трассы подземных сооружений различных коммуникаций и сетей, а также устройства транспортных развязок;
- необходимостью предотвращения просадок поверхности и охраны зданий и сооружений, попадающих в зону влияния строящегося подземного объекта;

- сложными градостроительными условиями, обусловленными требованиями сохранности исторических памятников и заповедных зон, трудностью ведения строительных работ вблизи существующих зданий и сооружений в сочетании с одновременным укреплением их фундаментов, устройством подпорных систем и защитных конструкций.

Преодоление сложных геологических и градостроительных условий при освоении подземного пространства Москвы осуществляется посредством:

- более тщательного проведения геологической разведки грунтов и изучения условий строительства;
- оценки состояния массива горных пород и составления прогноза его поведения в ходе проведения работ;
- осуществления геомониторинга за развитием деформации в породном массиве в процессе строительства с целью предотвращения просадок поверхности и повреждения близлежащих зданий и сооружений;
- использования различных способов строительства подземных сооружений.

Освоение подземного пространства Москвы должно носить планомерный и комплексный характер застройки пригодных для этого участков массива как в сложившейся части города, так и в развивающихся его районах в тесной увязке с перспективными планами развития городских территорий.

Методологическими основами активного, комплексного и целенаправленного освоения подземного пространства Москвы и городов-мегаполисов необходимо признать:

- научное обеспечение организации освоения подземного пространства;
- стратегию его инвестирования;
- научно-технологическое направление;
- систематизацию и совершенствование технологий возведения подземных объектов;
- новые знания структуры недр города;
- синергетику формирования и выбор прорывных инноваций в строительстве тоннелей и подземных сооружений (синергетика – это междисциплинарный подход взглянуть на проблему подземного строительства с учетом рисков, случайностей, оптимального управления и нелинейной динамики в неравновесной среде недр);
- организацию освоения подземного пространства;
- опыт и высокие технологии строительства, как основа совершенствования метода инновационного развития освоения подземного пространства.

Примерами его комплексного использования вблизи сооружений метрополитенов могут служить:

- рекреационный подземный комплекс «Охотный Ряд», пешеходные комплексы у станций метро «Комсомольская», «Курская», «Китай-город», «Павелецкая», «Пушкинская»;
- транспортная развязка под площадью Гагарина;
- транспортная развязка, многоярусный подземный гараж-стоянка с торговым комплексом на площади Тверской заставы;
- ММДЦ «Москва-Сити»;
- 1-я очередь многофункционального комплекса на площади Павелецкого вокзала и ряд других.

Для обеспечения безопасной совместной эксплуатации метрополитена и объектов городской инфраструктуры, расположенных вблизи его сооружений, необходимо выполнять следующие требования:

- систематическое проведение их обследования в зоне строительства подземных объектов;
- неуклонное и постоянное выполнение программы работ по геотехническому мониторингу стройплощадок;
- организация наблюдений за состоянием окружающего массива грунта, сооружениями и подземными коммуникациями, находящимися в зоне влияния строительства подземных объектов;
- систематическое выполнение всех требований «Инструкции по наблюдениям за движениями земной поверхности и расположенных на ней объектами при возведении в Москве подземных сооружений», а также свода правил по проектированию и прокладке метрополитенов СП32-105-2004;
- в проектах организаций строительства объектов, размещаемых вблизи или в комплексе с сооружениями метрополитена, следует разрабатывать разделы промышленной безопасности и противопожарной защиты.

Явления нелинейности встречаются довольно часто, будь то аварийные ситуации при строительстве тоннелей метрополитенов и подземных объектов, или затопление горных выработок, или разрушение и деформация конструкции тоннелей под действием геотехнических процессов взаимодействия массива горных пород и обделок. Оказалось, что суть этих явлений заключается в поведении процессов подземного строительства как неравновесных развивающихся систем.

Особенности процессов подземного строительства, в том числе неустойчивости, становятся более понятными с позиций синергетики.

Особого внимания и решения сложных проблем требует возведение подземных объектов при повышенном горном давлении, повышенной сейсмичности вибрации горных пород и обделок, неустойчивости и текучести грунтового массива и стесненных условиях городской застройки.

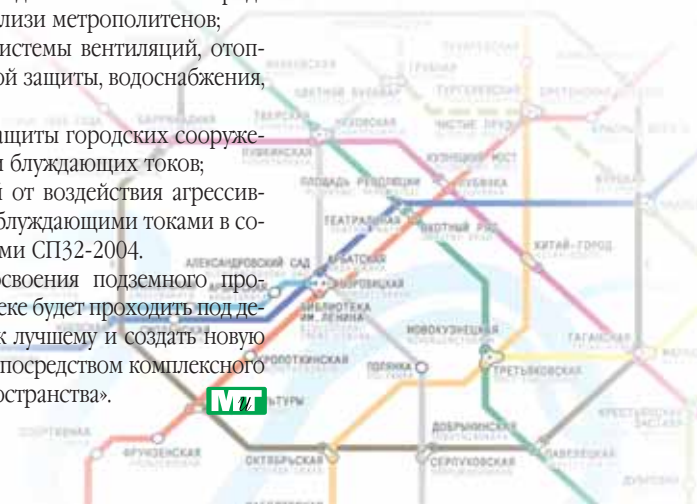
## **Заключение**

Распространение новых знаний о принципах освоения подземного пространства Москвы в увязке с линиями метрополитена и требованиями промышленной безопасности для строительства подземных сооружений необходимо для активного выполнения заданий правительства города.

Цельно и последовательно раскрыты основные направления, стратегия и возможности размещения подземных объектов городской инфраструктуры вблизи линий метрополитена за счет:

- использования свода правил СП32-105-2004 для проектирования и строительства многоярусных и многофункциональных подземных объектов городской инфраструктуры вблизи метрополитенов;
- устройства единой системы вентиляции, отопления и противопожарной защиты, водоснабжения, канализации;
- электроснабжения, защиты городских сооружений от шума, вибраций и блуждающих токов;
- защиты конструкций от воздействия агрессивных сред и от коррозии блуждающими токами в соответствии с требованиями СП32-2004.

Основной принцип освоения подземного пространства Москвы в XXI веке будет проходить под девизом «Изменить жизнь к лучшему и создать новую среду обитания человека посредством комплексного освоения подземного пространства».



# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОДОРОЖНОГО СКАНЕРА ТР-ГЕО ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

С. И. Миронов, С. В. Изюмов, С. В. Дручинин, Н. А. Круглов, ООО «Геологоразведка»



Рис. 1. Георадар ТР-ГЕО-01-08



Рис. 2. Сейсмостанция ТР-ГЕО и цифровой сейсмодатчик



Рис. 3. Запись сигналов

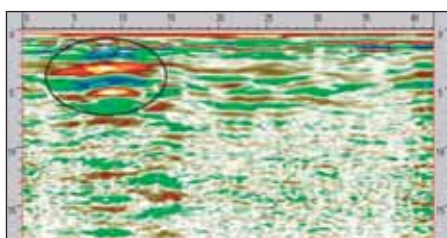


Рис. 4. Волновой профиль, пройденный по проезжей части (выделена аномальная зона с нарушенной структурой грунта)

Рис. 5. Горизонтальное сечение



В результате техногенного воздействия на существующие объекты улично-дорожной сети Москвы, связанного со строительством и эксплуатацией подземных инженерных коммуникаций и сооружений, расположенных под дорожным полотном, вследствие карстовых и оползневых процессов, имеющих место в ряде районов города, значительное число объектов уличной сети подвержено просадкам основания дорожного полотна, что ставит под угрозу безопасность движения автотранспорта.

Перед появлением видимых разрушений внутри дорожной одежды или земляного полотна протекают скрытые процессы (образование пустот, заиливание дренирующих слоев, переувлажнение грунта, инфильтрация грунтовых вод и т. п.), своевременное выявление которых позволяет вовремя принимать меры по укреплению грунтов и избежать просадок дорожного покрытия. В связи с этим в Москве и других крупных городах с развитой инфраструктурой назрела необходимость проведения периодического мониторинга состояния проблемных участков автомобильных дорог.

Для обследования состояния улично-дорожной сети г. Москвы ООО «Геологоразведка» уже несколько лет применяются новейшие геофизические методы, обеспечивающие неразрушающий контроль, высокую скорость сканирования, оперативность и достоверность получаемых результатов. Это георадиолокационный метод зондирования и сейсмоакустический, в частности, метод сейсмоакустической томографии.

Метод подповерхностной радиолокации основан на зондировании короткими сверхширокополосными электромагнитными импульсами. Они излучаются передающей антенной, отражаются от объектов зондирования в грунте и принимаются приёмной антенной. Максимальная глубина зондирования зависит от средней частоты спектра излучаемого импульса и электрических свойств грунта.

Георадиолокационный метод является наиболее подходящим для проведения периодического мониторинга улично-дорожной сети из-за следующих преимуществ: это метод неразрушающего контроля; возможно применение бесконтактного режима зондирования, когда антенны, установленные на автомобиле, расположены на высоте около 20 см над поверхностью дорожного покрытия; позволяет осуществлять быстрое сканирование и является экономичным.

При сейсмоакустических исследованиях источником волн обычно служат удары молота или специальные электромеханические излучатели. Приёмниками являются геофоны, плотно установленные в грунт или на

дорожное покрытие. Метод сейсмоакустической томографии, основанный на поверхностных волнах Рэлея, позволяет исследовать большие площади проезжей части автодорог и выявлять зоны разуплотнения грунта непосредственно под асфальтобетонным дорожным покрытием.

С 1993 г. в ООО «Геологоразведка» накоплен большой опыт практического использования георадаров серии ТР-ГЕО для контроля состояния грунтового массива. Наша организация располагает их широким набором с различными диапазонами рабочих частот и дальностью зондирования. На рис. 1 представлена новейшая модификация георадара ТР-ГЕО-01-08.

Георадары ТР-ГЕО содержат экранированные щелевые антенны, специально разработанные для использования в стесненных городских условиях. Они предназначены для обнаружения металлических, диэлектрических предметов, зон измененного состояния грунта, разуплотнений, пустот, водонасыщенных горизонтов и обводненных линз, других объектов и слоёв, имеющих достаточно резкие границы и отличающихся от окружающего грунта по диэлектрической проницаемости или проводимости.

Созданный геофизический комплекс, а так же программное обеспечение постоянно совершенствуются, вводятся новые методы обработки и визуализации данных зондирования. Разрабатываются и другие геофизические методы для проведения комплексных инженерно-геологических изысканий.

Одним из перспективных направлений является сейсмоакустическая томография. Нами создано универсальное оборудование ТР-ГЕО-С (рис. 2) для малоглубинной сейсмической разведки и томографии, предназначенное для использования в городских условиях.

Основой аппаратуры ТР-ГЕО-С является цифровой сейсмодатчик. Он включает геофон, усилитель, аналого-цифровой преобразователь и контроллер. Управление сейсмодатчиками (установка коэффициента усиления) осуществляется с компьютера. За счёт использования цифровой передачи данных на работу аппаратуры не оказывают влияния электрические помехи, которым подвержены сейсмоакустические измерительные системы с передачей по кабелям аналогового сигнала. Поэтому данная система может с успехом использоваться в условиях города при близком расположении линий электропередачи, контактных сетей транспорта и т. п.

Для приёма сейсмоакустических сигналов, обработки данных и построения геотомограмм предусмотрено специализированное программное обеспечение, разработанное в ООО «Геологоразведка».

Сейсмоакустическая томография в комплексе с георадиолокационным зондированием применяется нами при исследованиях состояния массива под автодорожным полотном на ряде объектов Москвы (рис. 3). Некоторые результаты представлены на рис. 4–5. Места ударов молотом показаны красными кружками, сейсмодатчики – синими. На распределение наложены трассы (лучи) распространения волн (отражениям теплых тонов соответствуют зоны с пониженной плотностью грунта).

Нашей фирмой накоплен уникальный опыт комплексного применения различных геофизических методов в инженерно-геологических изысканиях. На основе этого многолетнего опыта и практической работы были созданы методические рекомендации по геофизическому обследованию объектов улично-дорожной сети города Москвы. Они являются первым региональным документом, предназначенным для оказания методической помощи на этапе широкого внедрения практики геофизического мониторинга.

Для проведения мониторинга состояния протяженных участков дорожного полотна нами была разработана и успешно эксплуатируется геофизическая лаборатория на базе автомобиля «Соболь» (рис. 6).

Дорожная автолаборатория оснащена двумя георадарами: высокочастотным (рис. 7), позволяющим детально обследовать строение дорожной одежды до глубины 1–1,5 м, и низкочастотным (рис. 8) – до глубины 10 м. Скорость движения автолаборатории по дороге во время сканирования – около 40 км/ч. Автолаборатория имеет систему для непрерывной записи видеоизображения в процессе сканирования и датчик координат пройденного пути, передающий число оборотов колеса. В автомобиле-лаборатории оборудовано рабочее место оператора, где размещается компьютер, а также блок питания и управления георадаром. Такими георадарами ТР-ГЕО по заказу правительства Москвы были оснащены 10 дорожных сканеров (рис. 9).

Создано и специальное программное обеспечение для записи, обработки и визуализации данных сканирования, позволяющее корректировать толщины выделенных слоёв дорожной одежды в вертикальном разрезе путём введения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) материалов для каждого слоя.

В период 2007–2008 гг. фирмой ООО «Геологоразведка», используя разработанную геофизическую лабораторию, обследовано более 300 км автодорожного полотна на территории г. Москвы (некоторые результаты представлены на рис. 10).

Регулярно проводимый комплексный геофизический мониторинг проблемных участков улично-дорожной сети города обеспечил получение своевременной и достоверной информации о состоянии и строении дорожной одежды и подстилающих грунтов, на основании которой осуществляются меры по предотвращению провалов, просадок и деформаций под автодорожным покрытием. Данные, полученные по результатам геофизического мониторинга, позволяют составлять план работ по ремонту проблемных участков улично-дорожной сети, а также контролировать качество строительства новых автотрасс.



Рис. 6. Размещение антенн георадаров на автолаборатории: 1 – низкочастотного; 2 – высокочастотного; 3 – проблесковый маячок



Рис. 7. Высокочастотный георадар ТР-ГЕО-04. Применяется для определения строения дорожной одежды

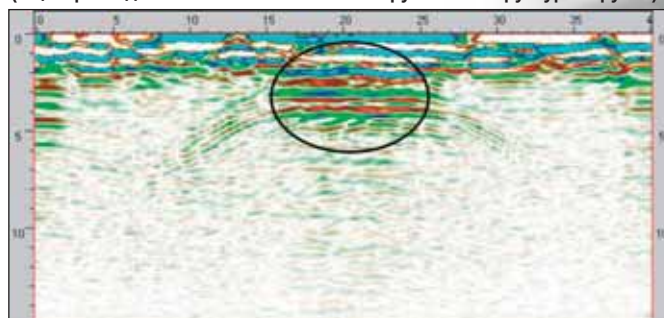


Рис. 8. Низкочастотный георадар ТР-ГЕО-01



Рис. 9. Дорожные сканеры, оснащенные георадарами ТР-ГЕО

Рис. 10. Вертикальный волновой профиль по трассе геозондирования (в центре выделена аномальная зона с нарушенной структурой грунта)



# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПОРОД ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ИХ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Н. Н. Абрамов, Ю. А. Епимахов, Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты

Использование гидротехнических тоннелей, пройденных в прочных скальных породах, в настоящее время в отечественной и мировой практике хорошо известно. Опыт показал, что при проходке подземных выработок буровзрывным (БВР) способом на степень их устойчивости в процессе эксплуатации в значительной мере влияют технология возведения, естественная структура массива и свойства вмещающих пород, особенно в пределах приконтурной его зоны, которая, как правило, является еще и нарушенной от технологического воздействия взрывных работ.

Степень влияния БВР на сохранность приконтурного массива определяется, прежде всего, технологией ведения этих работ. В практике различают общую (традиционную) технологию, характеризующуюся параметрами паспорта взрывных работ, рассчитанного на максимальное дробление пород взрывом шпуровых зарядов и с применением метода контурных зарядов (щадящая технология). Данные, полученные на основе многочисленных измерений, проводимых в Горном институте КНЦ РАН, показывают, что мощность нарушенной зоны при обычной технологии проходки может составлять от 0,3 до 1,5 м, а при использовании контурного взрывания изменяется в пределах 0–0,33 м.

В странах с высоким уровнем развития технологии проходческих работ, например в таких, как Норвегия и Финляндия, до 90–95% тоннелей эксплуатируются без крепления на протяжении десятков лет. Известны также примеры, когда при строительстве тоннелей в сложных инженерно-геологических условиях объемы крепления выработок составляют не более 20–30% их протяженности. При этом следует отметить, что на неблагоприятных, с точки зрения устойчивости, участках массива в обязательном порядке регламентируется контроль его состояния различными методами.

В отечественной практике гидротехнического строительства большепролетные подземные сооружения используются для размещения машинных залов ГЭС; они играют роль подводящих и отводящих напорных и

безнапорных тоннелей, причем значительное их количество также эксплуатируется без крепления. Как правило, эти тоннели пройдены с использованием обычных паспортов БВР. К особенностям их эксплуатации можно отнести то, что при образовании даже небольших локальных вывалов из стен и кровли происходит водоперенос горной массы по тоннелю, которая, попадая на лопасти турбин, приводит к их поломкам и выходу из строя дорогостоящих агрегатов и аварийным ситуациям. Поэтому особую актуальность приобретают вопросы своевременного проведения периодических обследований состояния массива, на основе которых разрабатываются регламенты профилактических и ремонтных работ по обеспечению безаварийной работы ГЭС. В то же время, опыт эксплуатации подобных тоннелей с оценкой их фактического состояния в научно-технической литературе практически не освещен.

Гидротехнической службой филиала «Кольский» ОАО «ТЭК-1», совместно с Горным институтом КНЦ РАН, разработан регламент обследования подземных сооружений ГЭС Кольского полуострова. Важным моментом при проведении натурального обследования гидротехнических тоннелей является не только принятая на сегодняшний день обычная фиксация очагов зон вывалообразования из кровли и стен сооружений, но и оценка природы образовавшихся в процессе эксплуатации сооружения вывалов. Исходя из современных представлений о формировании состояния массива во времени, программой работ учитывалась необходимость организации и проведения периодических наблюдений. Для этого в тоннеле закладывались стационарные наблюдательные полигоны для длительных наблюдений. Для этих целей был выбран метод томографии с использованием многоканальной сейсмической аппаратуры. Для проведения оперативных оценок состояния приконтурного массива подземных сооружений применяется портативная одноканальная сейсмостанция «Bison».

В соответствии с требованиями технической эксплуатации гидроэлектростанций было про-

ведено обследование тоннелей Верхне-Териберской и Борисоглебской ГЭС (Кольский полуостров, Россия). Основные характеристики тоннелей приведены в табл.

Методика обследований включает:

- отбор проб, проведение лабораторных испытаний образцов грунта для определения физико-механических свойств вмещающих пород;
- визуальный осмотр тоннелей, документирование вывалов, их классификация;
- организация на отдельных участках тоннелей инструментальной оценки параметров нарушенной зоны приконтурного массива.

Массив скальных пород, вмещающий подземные сооружения ГЭС, представлен микроклиновыми гранитами Балтийского щита, гранитогнейсами и сиенитами, ослабленными на отдельных участках зонами разлома и глинистыми прослойками с подчиненными гранодиоритами верхне-архейского возраста. Вариации их минерального состава невелики, поэтому характеристики плотности изменяются в небольших пределах. Плотность гранитов, содержащих в основном легкие минералы, – кварц и полевые шпаты – 2,70–2,75 т/м<sup>3</sup>. На характеристики упругости и прочности в большей мере влияют структурно-текстурные факторы и трещиноватость, ввиду чего и вариации изменчивости этих характеристик более широкие. Скорости продольных и поперечных волн составляют, соответственно, 5,15–5,42 и 3,01–3,26 км/с, прочность пород на сжатие – 160–247 МПа.

Важной эксплуатационной характеристикой любой подземной выработки, определяющей уровень вертикальной составляющей поля напряжений в массиве, является глубина ее заложения от свободной поверхности. Для тоннелей Верхне-Териберской и Борисоглебской ГЭС максимальная глубина – 60–100 м. Тогда оценочные величины максимальных напряжений в зонах концентраций в приконтурной части выработки можно определить как:

$$\sigma_i = \kappa \cdot \gamma \cdot H, \quad (1)$$

Таблица

Основные характеристики тоннелей

Наименование объекта	Тип тоннеля	Длина, м	Сечение, м <sup>2</sup>	Тип крепи	Способ проходки	Срок эксплуатации, лет
Верхне-Териберская ГЭС	Водонапорный	1410	40	Без крепления, на отдельных участках торкретбетон, анкеры	Обычная технология буровзрывных работ	22
Борисоглебская ГЭС	Безнапорные: подводящий; отводящий 1; отводящий 2	817	145	Без крепления, на отдельных участках анкера	Обычная технология буровзрывных работ	43
		130	160			
		158	160			

где  $\kappa$  – коэффициент концентрации напряжений ( $\kappa \approx 2-3$ );

$\gamma$  – плотность пород ( $\gamma = 2,7 \text{ кг/см}^3$ );

$H$  – глубина от свободной поверхности.

Согласно (1), для данных конкретных условий величины напряжений не будут превышать и 10 МПа, что не составляет и 10 % от прочности пород на сжатие  $[\sigma_{сж}]$  в образце. Следовательно, фактор напряженности пород при оценке устойчивости тоннеля не имеет решающего значения и им можно пренебречь.

Таким образом главным фактором, в данных условиях, становится структурный фактор массива и, в особенности, структурные неоднородности низшего порядка, к которым относятся крупные тектонические разломы и зоны сильно трещиноватых обводненных пород.

По результатам визуального обследования тоннеля Борисоглебской ГЭС на рис. 1 представлена обобщенная гистограмма распределения поперечных размеров для всех вывалов, зафиксированных в выработках. Характеристика кусков породы, вывалившихся из кровли и стен водоводов, по их минимальному поперечному размеру, соответствующему наиболее вероятному случаю отслоения породы по трещинам в массиве, показывает, что более 81 % кусков, обнаруженных в процессе визуального осмотра водоводов, можно отнести к мелкообломочным кускам породы, которые находились в пределах нарушенной зоны, образовавшейся от технологического воздействия БВР (0,1–0,6 м) при проходке тоннелей.

К аналогичным по природе вывалам можно отнести еще 9,5 % обнаруженных кусков размером 0,6–0,8 м. В то же время было зафиксировано несколько крупных обрушившихся блоков (объем каждого составляет 5–6 м<sup>3</sup>), которые по визуальной оценке находились в пяте свода водовода. Обрушение их произошло, по всей видимости, из-за снижения сцепления по межблоковым границам массива пород в результате длительного воздействия на него водовоздушных потоков. Кроме того, на этих участках отмечено неблагоприятное пересечение вертикальных и наклонных трещин на сопряжении стен и кровли выработок не создающих у обнажения тоннеля заклинивающего межблокового эффекта. На остальных участках тоннеля фиксируется преобладающая крутопадающая трещиноватость, которая должна обеспечивать, в основном, устойчивое состояние тоннеля.

Таким образом, характеристика пород, вывалившихся из кровли и стен подземных выработок при их визуальном обследовании, указывает на природу отслаивающихся кусков. Обрушения произошли, в основном, в пределах нарушенного техногенного слоя приконтурного массива пород. Для оценки его состояния на пяти участках подводящего тоннеля с зафиксированными вывалами был выполнен инструментальный контроль параметров на-

рушенной зоны. Для этой цели был использован сейсмический метод исследований, основанный на зависимости скоростей упругих сейсмических волн, возбуждаемых в массиве пород, от его состояния – мощности нарушенной зоны от контура выработки  $h$  и степени трещиноватости массива.

Сейсмоприемники сейсмических волн помещались вдоль обнажения выработки. С шагом перемещения в 1 м проводилось возбуждение сейсмической волны в массиве с регистрацией времен прохождения волны до сейсмоприемника. Измерения времени её прохождения осуществлялись одноканальной сеймостанцией «Bison» (USA), обеспечивающей точность отсчета до 0,05 мс. По каждому измерительному профилю (обычно не менее 10) строился годограф – график в координатах «время – расстояние», по наклону которого оценивалась величина скоростей продольных сейсмических волн для нарушенной зоны приконтурного массива  $V_{p,изм}$  и для сохранного нетронутого массива  $V_{p,0}$ . Мощность нарушенной зоны  $h_i$  вычислялась по координатам точки перегиба годографа ( $X_i$ ) и соответствующим значениям скоростей продольных сейсмических волн:

$$h_i = \frac{X_i}{2} \sqrt{\frac{V_{p,0} - V_{p,изм}}{V_{p,0} + V_{p,изм}}} \quad (2)$$

где  $h_i$  – мощность нарушенной зоны приконтурного массива, м;

$X_i$  – координата точки перегиба годографа, м.

Степень трещиноватости пород в пределах нарушенной зоны оценивалась по классификации Межведомственной комиссии по взрывному делу на основе геофизического показателя  $B_e$ , определяемого из выражения:

$$B_e = (V_{p,0} / V_{p,изм})^2 - 1, \quad (3)$$

Выполненная инструментальная оценка параметров приконтурного массива позволила классифицировать породы в пределах нарушенной зоны как среднетрещиноватые (III категория) с размером блока 0,5–1,0 м. В пределах точности измерений данная оценка хорошо согласуется и дополняет резуль-

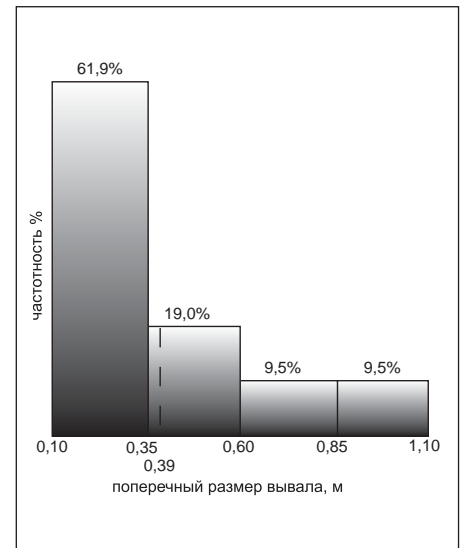


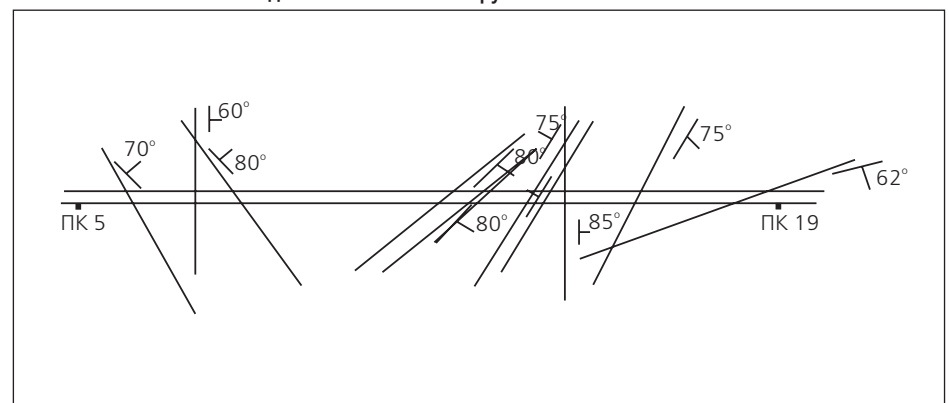
Рис. 1. Гистограмма распределения поперечных размеров вывалов в подводящем тоннеле

таты визуального обследования тоннелей. Величины оцененных мощностей нарушенной зоны от контура выработок  $h$  не превышают 1,1 м (как на момент проходки), что свидетельствует о том, что массив не потерял своих несущих свойств и обладает достаточным запасом устойчивости.

Трасса тоннеля Верхне-Терiberской ГЭС отличается по геологическим условиям. Она пересекает 9–11 зон тектонической трещиноватости. Однако их мощность по протяженности вдоль тоннеля не превышает 10–15 % его длины. Падение трещин в пределах этих зон составляет 75–80°. Они пересекают выработку, в основном, под углами 60–90°. С точки зрения устойчивости массива, такое взаиморасположение тектонических нарушений и выработки является наиболее благоприятным. В то же время, на отдельных участках тектонические нарушения пересекают трассу тоннеля под острыми углами, что может создавать условия для развития процессов вывалообразования. План тоннеля со следами тектонических нарушений представлен на рис. 2.

Для оценки состояния массива на участках неблагоприятной тектонической трещиноватости была проведена инструментальная оценка свойств пород и трещиноватости массива методом сейсмической томографии. В зоне тектонической трещины на

Рис. 2. Схема тоннеля со следами тектонических нарушений



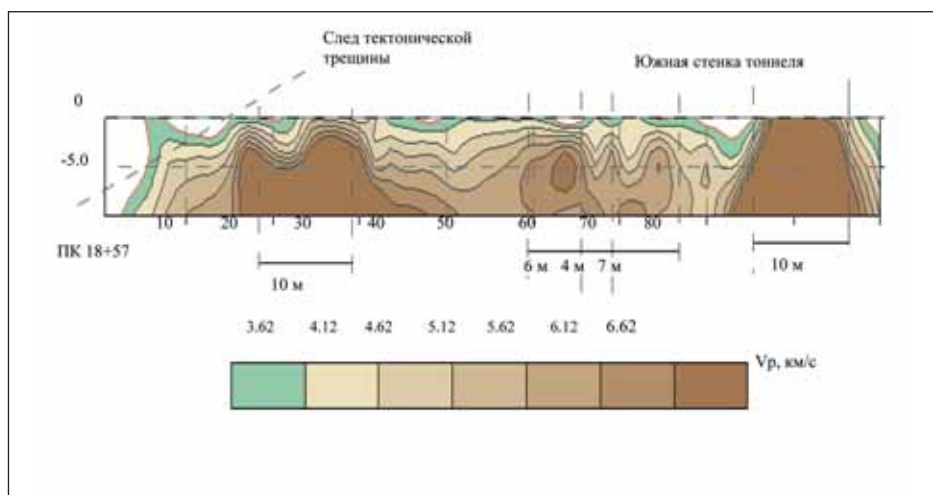


Рис. 3. Томограмма скоростей сейсмических волн в массиве  $V_p$

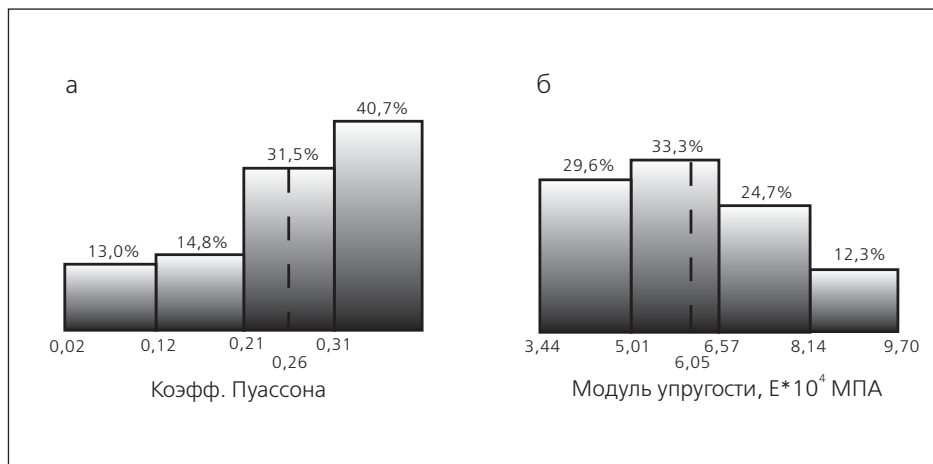


Рис. 4. Гистограммы свойств пород в массиве по данным натуральных измерений

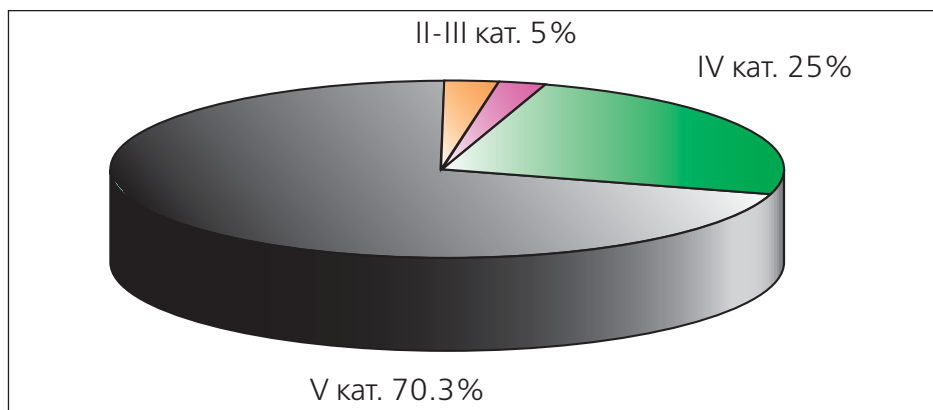


Рис. 5. Категорирование массива пород тоннеля Верхне-Териберской ГЭС по трещиноватости:

II – повышено трещиноватые породы, III-IV – средне и слабо трещиноватые породы, V – сохранные породы

ПК 1857–1930 оборудован стационарный измерительный полигон, на котором выполняется продольное сейсмическое профилирование. На установленные в массиве реперы крепятся сейсмоприемники. Возбуждение сейсмических волн производится ударным способом. Регистрация сейсмосигналов осуществляется по каждому каналу в широком частотном диапазоне (до 768 Гц) 24-канальной сеймостанцией McSeis-160. Для получения томограммы скоростей сейсмических волн в массиве на данном участке выполнено 12 ударных возбуждений. Решение прямой и обратной задач сейсмической томографии осуществлялось с использованием

пакета программ для ПЭВМ «Х-Томо». На рис. 3 приведена томограмма скоростей продольных волн для обследованного участка массива пород. Диапазон скоростей продольных волн составляет 3,62–6,62 км/с. По томограмме прослеживается структурная блочность массива. По контактам монолитных блоков (светло-серая палитра рисунка) скорость  $V_p$  падает, что указывает на снижение упругих свойств в зонах их влияния. В то же время, преобладание высокоскоростной составляющей в общем распределении скоростей упругих волн (в 70% случаев скорость  $V_p \geq 5,3$  км/с) разреза свидетельствует о высокой консолидации массива пород внутри

блоков с размерами 4–10 м. По соотношению скоростей  $V_p$  и  $V_s$  и известным выражениям (А. И. Савич, З. Г. Яценко, 1979 г.) оцениваются свойства пород в массиве (коэффициент Пуассона и модуль упругости). Категория их трещиноватости определяется на основе классификации по геофизическому критерию  $V_e$ .

На рис. 4 приведены гистограммы распределения упругих характеристик массива – коэффициента Пуассона  $\nu(a)$  и модуля упругости  $E(\delta)$  по результатам натуральных наблюдений. Средние значения этих характеристик ( $\nu = 0,26$ ,  $E = 6,06 \times 10^4$  МПа) близки или даже превышают эти показатели по сравнению со свойствами, полученными на образцах пород в лабораторных условиях. Низкими значениями упругих свойств ( $\nu > 0,35$ ) обладают породы, находящиеся в непосредственной близости к контуру выработки и в зонах влияния тектонических нарушений и межблоковых контактов массива. Однако мощность этих участков от контура выработок в глубь массива, как видно из рис. 3, не превышает 0,4–0,6 м и опасности для устойчивости тоннеля не представляет. Свойства пород приконтурного массива, сформировавшиеся в период проходки под влиянием генезиса и буровзрывных работ, в процессе длительной эксплуатации под воздействием напорных вод тоннеля, постепенно вымывающих трещинный заполнитель межблоковых контактов, могут существенно изменяться. Об этом свидетельствует и вид гистограммы распределения коэффициента Пуассона (рис. 4а), имеющий явное смещение частот в сторону больших величин  $\nu > 0,35$ . Определены категории массива по трещиноватости, выполненное по показателю  $V_e$  для контрольного участка (см. рис. 3), характеризует массив, в основном, как сохранный, слаботрещиноватый (95%). Гистограмма категорирования приведена на рис. 5.

Таким образом, полученные результаты натурального обследования тоннелей Верхне-Териберской и Борисоглебской ГЭС дают основание сделать вывод о том, что несмотря на высокие показатели физико-механических свойств пород вмещающего массива, обеспечиваемые на 80–90% протяженности тоннелей и обладающими поэтому высоким запасом устойчивости, длительная эксплуатация практически незакрепленных гидротехнических тоннелей под влиянием процессов выветривания и воды приводит к снижению геомеханических характеристик массива. В зонах тектонических нарушений фиксируется ослабление естественных межблоковых связей под действием активных процессов, в особенности для водонапорных тоннелей. Со временем на подобных участках могут формироваться очаги вывалообразования из стен и кровли тоннеля. Для выявления динамики состояния геомеханический контроль по предопределенной методике необходимо установить режимным путем организации долгосрочных наблюдений.





## Оборудование для цементации грунтов

Буровые установки  
Comaccio, IPC, MDT,  
Tecnivell



Высоконапорные  
цементировочные насосы  
Tecnivell

Миксерные станции  
CM-40/90 "Вихрь"



Инъекционные комплексы  
IPC, Tecnivell

Инъекционные насосы  
GP30, НБЗ-120/40

Буровой инструмент для  
струйной цементации  
Jet1, Jet2: штанги,  
мониторы, форсунки,  
долота



Силосы для хранения  
цемента

Специальные строительные  
вагоны, баки для воды

Анкера Titan, Атлант,  
MiniJet



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА СООРУЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

**М. Г. Зерцалов**, проф., д. т. н., **Д. В. Устинов**, инженер, Московский государственный строительный университет  
**В. Е. Меркин**, проф., д. т. н., **Е. В. Щекудов**, к. т. н., Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены»

Условия современной строительной деятельности в городах требуют понимания и количественной оценки взаимовлияния возводимых подземных и наземных объектов и их воздействия на такие высокоответственные сооружения, как, например, действующие станции метрополитена.

Рассмотрим предлагаемый для решения этой задачи подход на примере строительства многофункционального торгового комплекса (МФТК), подземная часть которого длиной 240 и шириной от 40 до 90 м состоит из четырех основных и одного технологического уровней, а так же автономного 3–5-уровневого блока гаражей на 900 машиномест над станцией метрополитена глубокого заложения (рис. 1). Для анализа здесь был применен метод математического моделирования, позволяющий рассматривать математические модели, как физически выполненные в реальном масштабе (1:1), а программное обеспечение – как лабораторную установку или комплект инструментов натуральных исследований.

Особенностью моделирования рассматриваемой системы является то обстоятельство, что при принятой схеме влияние на конструкцию станции оказывает производство работ не только непосредственно над отдельным элементом, но и вблизи от нее. Решение такой задачи возможно только методом конечных элементов (МКЭ) с помощью современных компьютерных программ. Одним из таких расчетных комплексов является выбранная для данных исследований компьютерная программа «Z\_SOIL.PC», разработанная фирмой «ZACE Services Ltd.» в г. Лозанна (Швейцария). Этот программный продукт позволяет учитывать свойства грунтов и конструктивных материалов, последовательность возведения сооружений и т. д. с реализацией расчёта на персональных ЭВМ.

В процессе моделирования была учтена определенная проектом вся последовательность (38 этапов) строительства МФТК.

Моделирование проводилось в упругопластической постановке с использованием модели пластического течения по условию прочности Мора-Кулона.

Расчётная область включала в себя массив грунтов основания протяженностью 210×117 м и максимальной глубиной от поверхности 46,3 м (рис. 2).

Для обеспечения сохранности инженерных сооружений метрополитена проектом

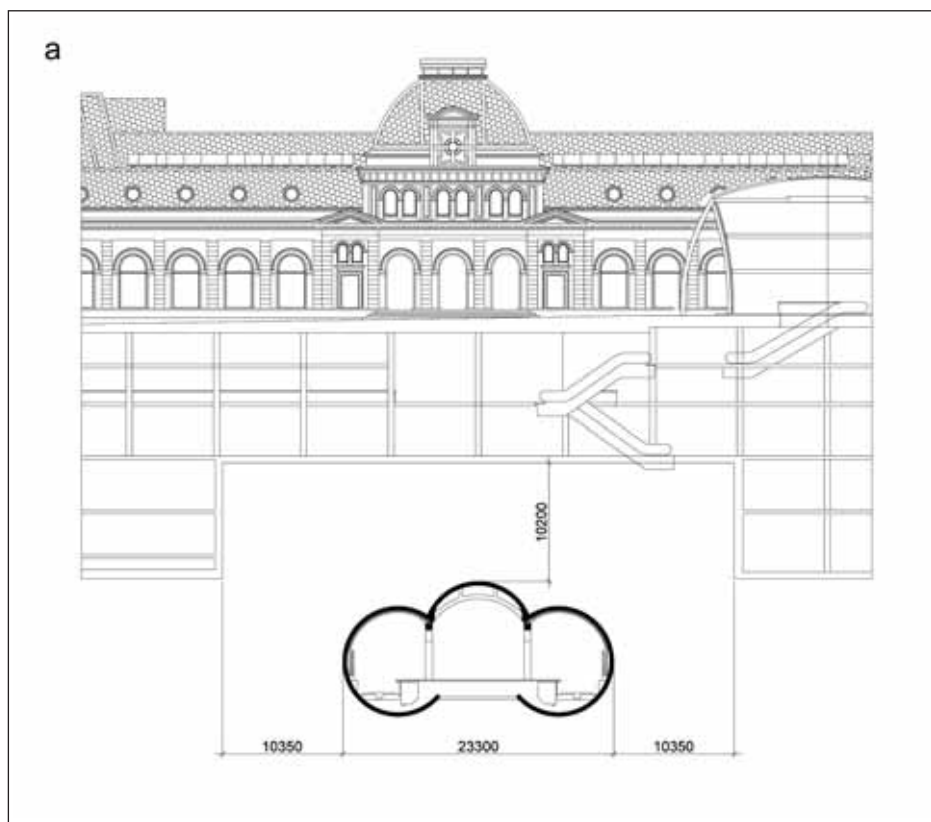


Рис. 1. Взаимное расположение строящегося многофункционального комплекса и существующей станции метрополитена: а – общий вид; б – расчетная модель

предусматривался ряд мероприятий по укреплению грунтов окружающего массива, учтенных при создании расчетной конечно-элементной модели. Основные работы по возведению комплекса были разделены на два этапа:

- первый – разработка котлована в зоне парковки сверху до низу с креплением «стен в грунте» распорными элементами и последующим возведением конструкций гаража;

- второй – возведение торгово-развлекательной части корпуса, включающей разработку центральной части с оставлением берм и возведением центральной опорной части комплекса с последующим сооружением ограждающих стен и внутренних несущих колонн заглубленной части, опирающихся на известняки, с последовательным устройством перекрытий и поярусной разработкой грунта сверху-вниз.

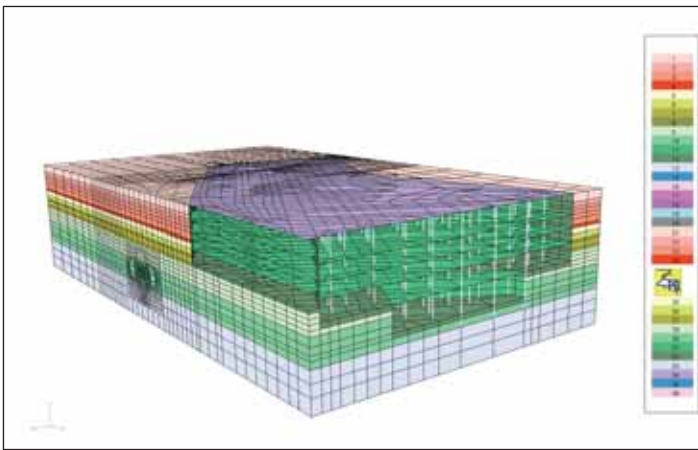


Рис. 2. Расчетная область

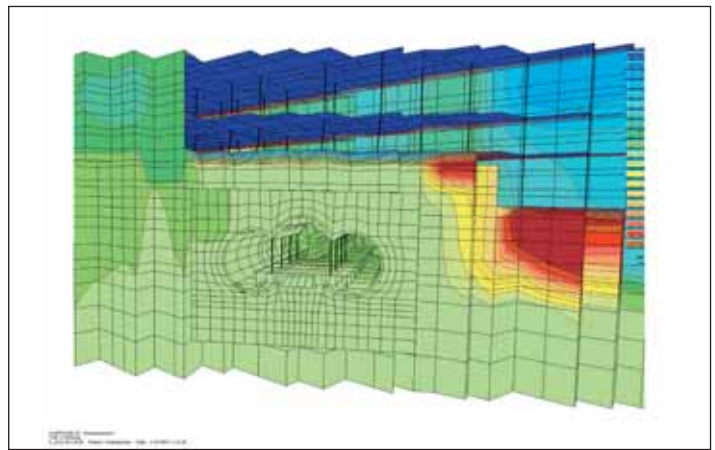


Рис. 4. Распределение величин вертикальных перемещений  $U_y$  на период завершения I этапа строительства

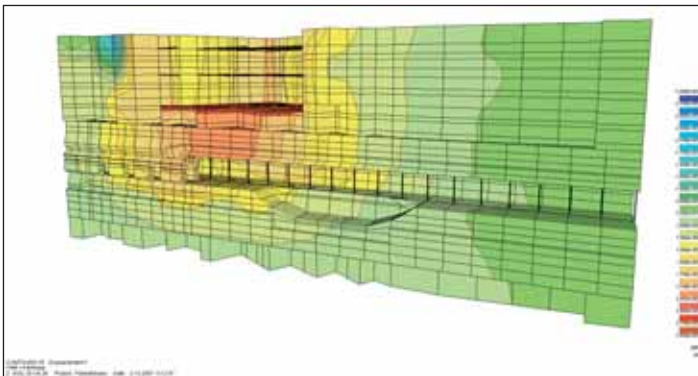


Рис. 3. Распределение величин вертикальных перемещений  $U_y$  на период разработки котлована I этапа. Сечение вдоль оси станции

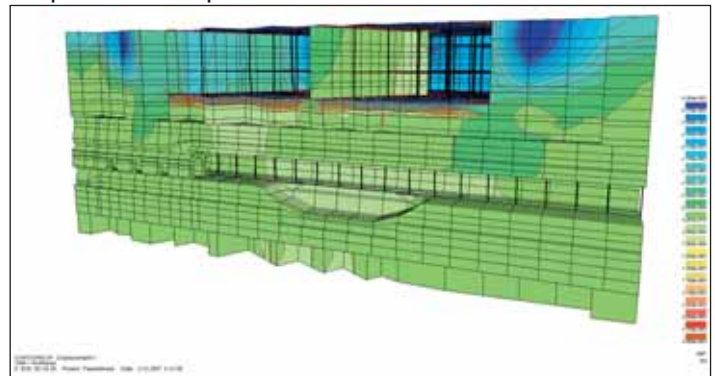


Рис. 5. Распределение величин вертикальных перемещений  $U_y$  на период окончания строительства комплекса. Сечение вдоль оси станции

В результате проведенного моделирования были определены возможные перемещения элементов конструкций станции для всех основных этапов работ.

Значения прогнозируемых вертикальных смещений конструкций станции для некоторых из основных этапов возведения показаны в таблице, а представление о характере деформированного состояния дают картины распределения изохром вертикальных перемещений для периодов, соответственно, разработки котлована первого этапа, завершения его строительства и окончания всех работ (рис. 3–5).

Сравнение полученных на основании математического моделирования прогнозных величин перемещений конструкций станции с их допустимыми значениями (до 5 мм – из условия обеспечения нормальной эксплуатации станции) на всех этапах строительства МФТК позволило сделать вывод о его возможности при условии предварительного укрепления грунтов над станцией.

### Заключение

Численное моделирование пространственного взаимодействия строящегося многофункционального торгового комплекса и вмещающего грунтового массива с учётом его инженерно-геологических особенностей производилось в упругопластической постановке с использованием программного комплекса «Z\_SOIL 3D». В расчетах воспроизводились естественное напряженное состояние вмещающего массива с учетом существующей станции метрополитена

Таблица

**Расчетные значения прогнозируемых вертикальных смещений конструкций станционных тоннелей, мм**

	В зоне свода	В зоне путей
Разработка котлована I этапа до проектной отметки		
Путевые тоннели	+1,63	+1,18
Средний тоннель	+1,35	+1,09
Средний тоннель	+1,32	+0,84
Завершение I этапа строительства		
Путевые тоннели	+0,25	+0,14
Средний тоннель	+0,13	0
Средний тоннель	+0,19	+0,06
Завершение разработки котлована II этапа		
Путевые тоннели	+2,14	+1,25
Средний тоннель	+2,46	+1,59
Средний тоннель	+2,17	+1,45
Завершение строительства многофункционального комплекса (в зоне укрепления)		
Путевые тоннели	-0,13	-0,1
Средний тоннель	+0,25	+0,18
Средний тоннель	± 0,1	± 0,1
Завершение строительства многофункционального комплекса (вне зоны укрепления)		
Путевые тоннели	-0,68	-0,65
Средний тоннель	-0,24	-0,06
Средний тоннель	-0,47	-0,2

глубокого заложения, проектная последовательность и конструктивные особенности сооружаемого МФТК.

Численное моделирование, проведенное в соответствии с учётом проектной технологии работ, выявило целесообразность выполнения укрепления грунтов до начала их разработки.

Анализ результатов моделирования показал, что полученные прогнозные величины

перемещений конструкций станции метрополитена на всех этапах строительства МФТК не превышают предельно допустимых значений, при условии предварительного укрепления грунтов над станцией и в основании комплекса.

Это позволяет сделать вывод о сохранности существующих инженерных сооружений метрополитена в процессе возведения МФТК.



# АВАРИЙНЫЕ СИТУАЦИИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

И. Л. Писарев, Тоннельная ассоциация России  
Б. Г. Крохалев, академик ИАНЭБ

**Н**а современном этапе градостроительства в условиях сокращения территориальных резервов для создания и развития благоприятной среды жизнедеятельности в целях устойчивого развития города необходимы опережающие темпы освоения подземного пространства.

В связи с активизацией производственной деятельности в данной области, увеличением энерговооруженности труда и связанным с этим возрастанием роли техногенных факторов повышается актуальность обеспечения безопасности во всех сферах хозяйствования.

Частота аварий и тяжесть несчастных случаев при возведении подземных объектов в тоннелестроении адекватны горнорудной и угольной отраслям и существенно выше, чем в других отраслях строительства. Сооружение подземных и тоннельных объектов сопровождается случаями внезапного обрушения грунта и крепи, прорыва подземных вод и пльвуна, выброса грунта и газов, пожаров, взрывов, возникновения опасных ситуаций, связанных с поломкой оборудования, повреждением инженерных коммуникаций и пр. Объекты подземного строительства являются зонами «повышенного риска», и в случае аварии представляют серьезную опасность для находящихся в них людей и окружающей среды. При авариях на подземных объектах и в тоннелях часто случаются травмы и гибель людей. При этом значительно увеличиваются сроки строительства и наносится большой экономический ущерб.

Кроме проявления собственно аварий, возникают и другие экстремальные ситуации, требующие оперативности и безошибочности в принятии мер, изменении технологий, а также психологической подготовленности персонала. Такие ситуации возникают как при неожиданных, так и прогнозируемых проявлениях неблагоприятных, вредных и особых факторов, при проведении работ по ликвидации и консервации объектов, ликвидации последствий аварий и восстановлении выработок.

Безопасность при освоении подземного пространства и в тоннелестроении определяется не только грамотностью принятия конструктивно-технологических решений и неукоснительностью соблюдения требований нормативно-технических документов на всех стадиях создания объекта, но также подготовленностью и способностью персонала к действиям в экстремальных ситуациях. Для этого необходимы анализ и обобщение опыта деятельности горноспасательных, производственных и вспомогательных подразделений; надо знать в каких случаях можно их использовать при выборе технологий, регламентов, проведении практических тренировок (учений), близких к реальным условиям строительства объекта, разработке мероприятий и организационных форм действий

при возникновении экстремальных ситуаций, чтобы избежать многих ошибок и нежелательных последствий. Анализ диктофонных записей тренировок на объектах строительства показывает, что нетренированный персонал в экстремальной обстановке теряет, принимает неадекватные решения по сложившейся аварийной обстановке.

Проводившиеся ранее исследования были направлены, в основном, на разработку мер *предотвращения* аварийных ситуаций. Научные подходы к инженерному обеспечению, регламентам оперативных мер *при возникновении аварий, ликвидации их последствий и других экстремальных ситуациях при освоении подземного пространства и в тоннелестроении* в технической литературе освещены явно недостаточно. Актуальность систематизации данных и проведения дальнейших исследований по перечисленным вопросам, в т. ч. создания устойчивых систем жизнеобеспечения на объектах тоннелестроения, очевидна.

Важнейшими задачами при возникновении любой чрезвычайной ситуации являются спасение людей, локализация и ликвидация аварии. Для этих целей должны быть приняты меры, предусмотренные оперативной частью ПЛА: подача аварийного сигнала (светового, звукового и др.) о выходе из выработки, вывод людей на поверхность; вызов горноспасателей (ВГСЧ), назначение ответственных лиц (по списку № 1) и выявление количества людей, оставшихся в выработках; обеспечение работы системы вентиляции согласно ПЛА и подачи сжатого воздуха к месту спасательных работ; отключение электроэнергии при опасности поражения людей электроотоком (за исключением электрооборудования вентиляционных установок); усиление крепи, доставка материалов и средств ликвидации аварии.

Любое лицо, обнаружившее даже простейший, казалось бы, источник аварийной ситуации в подземной выработке, обязано немедленно сообщить об этом лично или по линиям связи лицу технического надзора или администрации организации и для оценки обстановки вызвать подразделение горноспасательной части. Затем вывести работающих из зоны поражения и со стороны свежей струи принимать меры к устранению аварии в начальной стадии.

Для выяснения обстановки и принятия решений по аварийному участку руководителю ликвидации аварии разрешается направлять надзор в шахту лишь после доклада командира ВГСЧ о результатах разведки и обследования выработок, с получением результатов анализов рудничной атмосферы.

После исполнения мероприятий, предусмотренных планом ликвидации аварий, для оценки возможностей дальнейшего выполнения горно-

спасательных работ, выбора мест возведения изолирующих перемычек и прочих защитных сооружений организуются дополнительные разведки и обследования загазованных выработок силами и специалистами горноспасательной службы, за результаты которых отвечает руководитель горноспасательных работ.

***Нарушение этого святого правила всегда приводило ИТР к летальному исходу.***

Действия администрации организации в начальный период (директора и руководителей служб) должны быть направлены на организацию встречи людей из шахты (тоннеля), уточнения места их нахождения, оказания медицинской помощи пострадавшим, транспортирования и размещения их в медицинских учреждениях, обеспечения спасательных работ необходимыми материалами, оборудованием, подсобной силой и лицами горного надзора.

В случае тяжелой аварии сразу же создается техническая комиссия при руководителе ликвидации аварии, для подготовки мероприятий и разработки дальнейших планов ликвидации аварии.

При возникновении аварийной ситуации на рабочем месте, в горной выработке, связанной с загазованностью подземной выработки, люди действуют в зависимости от своего местонахождения и направления движения воздушной струи. Оказавшись вне зоны загазованности, они включаются в изолирующие самоспасатели, организуют включение других работников и выводят их на поверхность по своим запасным выходам. По пути следования сообщают дежурному лицу технического надзора об обстановке, своих действиях и далее выполняют задания ответственного руководителя по ликвидации аварии. Оказавшись до источника загазования, сообщают об аварийной ситуации дежурному лицу технического надзора предприятия и, включившись в изолирующие самоспасатели, принимают меры к локализации или ликвидации аварии, действуя согласно ПЛА.

При пожаре в тупиковой выработке, когда выход на свежую струю воздуха или поверхность перекрыт очагом горения, застигнутые пожаром должны включиться в самоспасатели и контролировать концентрацию окиси углерода с помощью приборов экспресс-анализа (ГХ и др.). Располагаться нужно в безопасном месте у конца вентиляционной трубы или вентилля трубопровода сжатого воздуха (если по ним поступает свежий воздух); перекрыть сечение выработки временной перемычкой из аварийного или подручного материала (например, прорезиненной ткани гибких вентиляционных труб), чтобы создать в отгороженной зоне избыточное давление воздуха; установить и поддерживать связь с ответственным руководителем работ по ликвидации аварии и ждать прибытия горноспасателей.

При взрыве газовоздушной смеси в подземной выработке необходимо: установить место взрыва и границы распространения ударной волны; определить число застигнутых взрывом людей и места их нахождения; произвести оценку ситуации и немедленно приступить к горноспасательным работам. Принять все возможные меры, для значительного увеличения поступле-

ния свежего воздуха в район взрыва, используя все наличные вентиляторные установки, сети сжатого воздуха.

При разработке оперативных планов должны предусматриваться: постоянный контроль за газовой обстановкой в выработках с нарушенной системой проветривания; восстановление нормального проветривания на аварийном участке, разгазирование выработки и увеличение подачи воздуха в наиболее вероятные места нахождения пострадавших; проверка работоспособности противопожарной сети на случай тушения возникших очагов пожара; обеспечение устойчивой связи с местами ведения работ и безопасности их выполнения.

Вывод людей из зоны затопления организуется пешим порядком по всем восходящим выработкам, аварийно-спасательным мосткам или с использованием подручных плавсредств. Запрещается подходить под заиленные выработки снизу. Если работы с верхнего горизонта вести невозможно, то выпуск водогрунтовой массы допускается под защитой барьерных перемычек, устанавливаемых в горизонтальных выработках в непосредственной близости от места выпуска пульпы и рассчитанных на максимальное динамическое воздействие волны прорыва.

Спасательные работы необходимо проводить с обязательным визуальным и инструментальным наблюдением за уровнем воды одновременно из наибольшего числа возможных мест. Локализация прорыва воды должна сопровождаться принятием мер, ограничивающих вынос грунтов, заиливание выработок, водосборников насосных установок и предупреждающих выход воронки обрушения на поверхность.

Во время спасательных работ, локализации аварии, связанной с прорывом водогрунтовой массы, и ликвидации ее последствий необходимо вести контроль состава воздуха и принимать меры по проветриванию выработок.

При выходе воронки обрушения на поверхность, следует принять меры по остановке ее развития. Для этого в нижнюю горловину воронки сбрасывают крупные блоки, сцепленные шахтные вагоны и другие конструкции. Затем организуется мощная засыпка котлована с поверхности грунтом и песком.

Оказавшиеся за завалом люди должны, в первую очередь, приступить к усилению крепи участка выработки, где они были застигнуты обрушением, и подать сигналы (периодическим включением отбойного молотка, перфоратора, многократными ударами твердым предметом по стенкам выработки, рельсам, трубопроводам, элементам крепи и т. п.). После получения ответа следует попытаться установить речевую связь. Если это невозможно, следует продолжить передачу информации при помощи стуков в определенной комбинации. Первая группа стуков указывает, сколько человек находится за завалом (она передается соответственным числом одиночных стуков с интервалом 1–2 с), вторая – подаваемая через 10–15 с после первой, информирует о местонахождении людей, застигнутых обрушением (каждый сигнал второй группы подается с интервалом 5–7 с).

При обрушении призабойной зоны, где отсутствуют соединительные сбойки с другими



выработками, оказавшиеся за завалом обязаны передать информацию о количестве людей и расстоянии между завалом и забоем выработки. Подтверждением того, что информация принята, служит повторение принятого сигнала горноспасателями. После установления связи с пострадавшими организуется подача к ним воздуха по скважинам или сохранившимся трубопроводам и проходка спасательных выработок одновременно из возможно большего числа мест, в т. ч. бурение спасательных скважин с поверхности. В этих случаях запрещается прекращать подачу сжатого воздуха и производить на объекте взрывы. При нарушении работы систем вентиляции, водоотлива, энергоснабжения следует принять меры по их восстановлению, организации контроля состава воздуха и предотвращению возможного подтопления и заиливания выработок.

**Для спасения людей, застигнутых обрушением,** необходимо быстрее проникновение к пострадавшим и оказание им помощи (извлечение из-под завалов, подкрепление выработки). При отсутствии такой возможности надо установить места вероятного нахождения людей (по месту работы) путем опроса лиц горного надзора и строителей, работавших на момент возникновения аварии, а также путем окликов, перестукивания, применения прослушивающих приборов (геофонов).

Организация и выполнение горноспасательных работ зависит от места обрушения. В горизонтальных и слабонаклонных выработках должна быть предварительно усилена крепь выше и ниже зоны обрушения. Для подхода горноспасателей к пострадавшим обрушенные грунты убирают со всех возможных подступов, при этом тщательно крепят обнажаемую кровлю. Уборку грунта осуществляют так, чтобы не допустить смещения крупных кусков, т. к. пострадавший может оказаться в пустотах среди них. Для извлечения пострадавшего крупные куски грунта поднимают с помощью клиновых или пневматических домкратов с одновременным подкреплением расширяемых пустот.

Для обеспечения безопасности находящихся в зоне обрушения людей, а также персонала, ведущего спасательные работы, производят установку временной крепи, оборуку нависающих глыб грунта и др. Если за завалом имеется аварийный запас, люди имеют возможность вести проходку штольни встречным забоем.

Вспомогательные выработки диаметром до 0,9 м могут быть оперативно пройдены с использованием технологии, разработанной в ИГД СО РАН, которая положительно зарекомендовала себя в породах несвязных и полускальных, а также насыпных грунтах.

Спасение людей, оказавшихся заблокированными за глухим завалом, зависит от степени нарушения систем жизнеобеспечения.

Если основные инженерные коммуникации не повреждены и функционируют, т. е.

в выработанное пространство за завалом подаются электрическая энергия, сжатый воздух и вода, работает связь, но нарушена система вентиляции, действия спасательных подразделений заключаются в уточнении обстановки, подаче в локализованную зону свежего воздуха, воды, пищи, медикаментов. Для этого можно использовать магистраль сжатого воздуха. Подача пищи и медикаментов производится в герметичной упаковке по указанной магистрали путем проталкивания сжатым воздухом. Одновременно организуется проходка эвакуационной штольни, по завершении которой осуществляется эвакуация людей из зоны завала и последующее восстановление выработки.

Если инженерные коммуникации и связь нарушены, первоочередными задачами являются устройство в уровне подошвы выработки вспомогательной скважины (методами бурения, продавливания или прокола) с обсадной трубой диаметром 200–250 мм, проходка эвакуационной штольни и выполнение мероприятий заложенных в планах ликвидации аварии.

Во всех случаях необходимо, прежде всего, обеспечить пострадавших свежим воздухом и создать несколько путей эвакуации. Расположение спасательных выработок назначают из условия их минимальной протяженности с учетом надежности крепи и возможности использования в дальнейшем при ликвидации завала. Однако запрещается надрабатывать или подрабатывать выработки, так как это может явиться причиной обрушения в зоне нахождения пострадавших и ведения горноспасательных работ.

В случае возникновения аварийной ситуации в зоне сжатого воздуха (кессоне), в том числе при прорыве воздуха и падении давления, все работающие в кессоне должны по указанию старшего принять меры по быстрому выходу из данной зоны. При этом надо убедиться в том, что никто не остался в зоне сжатого воздуха.

При потере сознания в кессоне следует вынести пострадавшего в людской шлюз и оказать ему первую помощь, а при отсутствии у пострадавшего признаков дыхания необходимо немедленно вызвать в кессон врача.

В период экстренного выхода из кессона режим вышлюзовывания и необходимость использования кислородных и других приборов определяется дежурным врачом. После аварийного вышлюзовывания требуется выполнение указания кессонного медперсонала и, в случае необходимости, пройти лечебную рекомпрессию.

В настоящее время широко применяются механизированные щиты с гидро- и пневмопригрузом и другими технологиями разработки смешанных водонасыщенных грунтов в сложных гидротехнических условиях. В этих случаях для обеспечения технологических, ремонтных и профилактических работ на проходческих комплексах используются барокамеры (кессонные камеры). В настоя-

щее время разрабатываются проходческие комплексы диаметром до 19 м. Нормативными документами (по кессону) предусматривается, что работы в кессоне должны выполнять обученные этим процессам проходчики. Горноспасатели пока для этого не имеют ни соответствующих кадров, ни аппаратуры для респираторщиков. Хотя, в восьмидесятих годах была проведена большая исследовательская работа по созданию и оснащению горноспасательных отделений аппаратурой, для работы в кессонах при строительстве Ленинградского метрополитена. Исследования проводились в Ленинградской военно-медицинской академии, но, к сожалению, все материалы утеряны.

При избыточном давлении в кессоне выше 0,2 МПа (2 кг/см<sup>2</sup>) запрещается работа в кислородных изолирующих респираторах. При возникновении пожара производится затопление кессона с медленным снижением давления и последующей засыпкой незакрепленной части выработки песком.

Возможные аварийные ситуации в зоне сжатого воздуха и порядок эвакуации людей, находящегося в кессоне, должны быть детально разработаны в ПЛА строительного объекта.

Проходческий комплекс в настоящее время это – с одной стороны, тонны и более смазочных материалов, высоковольтные и низковольтные кабели, магистрали смазки, шланги сжатого воздуха, электро- и гидродвигатели, температурные нагревы, закрытый доступ для визуального осмотра работающей техники на комплексе, сварочные и огневые работы при ремонтах, а с другой – на комплексе имеются технологическая вода и ручные огнетушители, но нет, на ряде проходческих комплексов, специальных автоматических систем контроля обстановки и подавления очагов возгорания, действующих без участия человеческого фактора.

Проходческие комплексы имеют значительную протяженность, большую высоту по диаметру резания, насыщены большим количеством механизмов, горючих материалов и в тоже время комплекс представляют собой ограниченное пространство для передвижения людей и управления им, и, в том числе горноспасателей, да если учесть, их стоимость, то очевидно они должны иметь надежную автоматическую защиту от возникновения любой аварийной ситуации без участия человека. В случае возгорания, обстановка и закрытое пространство заставят строителей немедленно покинуть свои рабочие места и эвакуироваться в безопасные выработки или на поверхность. Аварийная ситуация на комплексе останется неконтролируемой и может привести к тяжелым последствиям.

Следовательно, требование оснащения проходческих комплексов автоматическими системами ликвидации любых аварийных ситуаций должно войти в разработку новых нормативных документов по промышленной безопасности горнопроходческих комплексов.

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА МЕТРОПОЛИТЕНАХ

Г. И. Криштафович, В. Я. Пахомов, Московский метрополитен  
А. Н. Анисов, генеральный директор «Уктус-Электрик», к. т. н.



В последнее время в РФ и за рубежом разработаны и внедряются в различных областях сверхэнергоемкие емкостные накопители электрической энергии, представляющие собой аккумуляторы, конденсаторы или их гибриды. В РФ наиболее эффективными являются накопители фирм «ТЕХНОКОР» и «ЭЛТОН». Разработанная и сертифицированная их гамма запасает энергию от сотен тысяч джоулей до десятка мегаджоулей; накопители полностью пожаробезопасны и экологичны в течение всего срока эксплуатации, практически не требуют обслуживания.

Представляется необходимым применить высокие энергетические возможности современных накопителей для решения задач экономии электрической энергии, возможности эвакуации пассажирских поездов из тоннеля при аварийных ситуациях (исчезновение питающего напряжения) и улучшения микроклимата на пассажирских станциях.

При разработке вопроса применения накопительной установки (НУ) необходимо в первую очередь решить две основные задачи:

- размещение НУ (включая систему управления и защитную аппаратуру);
- обеспечение штатной динамики торможения и разгона поезда.

Возможны два варианта размещения (Л.1):

- на тяговой подстанции;
- на поезде.

Рассмотрим *первый вариант*. Естественно, размещение всего комплекса НУ на тяговой подстанции значительно проще. Но при этом неизбежно проявляются существенные недостатки подобного решения, вытекающие из наличия жесткой гальванической связи НУ с контактной сетью.

Остановимся на следующих основных.

1. Действующий норматив на диапазон рабочих напряжений контактного рельса составляет 550–975 В. Сравнительно узкий диапазон напряжений предопределяет малую эффективность использования НУ. Повышение технических показателей установки возможно за счет применения преобразователей постоянного тока, что резко увеличит её стоимость и снизит экономическую эффективность реализации проекта.

2. Накопитель по энергетическим параметрам будет с необходимостью избыточен по мощности, так как движение поездов по четырем фидерным зонам не синхронизировано: подходить к станции и тормозить, а также отправляться от станции и разгоняться могут от одного до четырех поездов.

3. При работе НУ значительная доля рекуперированной энергии будет рассеиваться в тяговой сети и путевых дроссель-трансформаторах (которых на фидерной зоне около 20 единиц). Как следствие, данные потери приведут к росту температуры подземного пространства.

Если в настоящее время имеется прямая энергетическая цепочка: питающая подстанция → поезд, то при первом варианте вводится посредник: подстанция → НУ → поезд.

4. Необходимость разработки и отладки информационно-управляющей связи НУ с тормозящими (трогающимися) поездами, причем с четырьмя одновременно. Возможные способы решения этой задачи достаточно проблематичны, хотя бы вследствие существенного колебания напряжения на каждой из четырех фидерных зон и на самой подстанции и выбора необходимых уставок для схем сравнения напряжения на контактном рельсе и на подстанции.

5. Необходимость выноса неперекрываемых токоразделов из зоны торможения, что потребует существенной реконструкции контактной сети.

6. В сети ~10 кВ имеют место не только колебания напряжения по амплитуде и длительности, но и фликеры стохастического характера; нагрузка КВ-агрегатов неравномерна вследствие разницы их внешних характеристик; движение поездов никоим образом не может быть связано с чередованием фаз питающей сети.

Именно поэтому соединение обмоток тягового трансформатора выполнено по схеме Y/Δ. Вторичная обмотка за счет уравнительных токов обеспечивает практически симметричное магнитное состояние магнитопровода тягового трансформатора.

Таблица

Характеристики вариантов накопительной установки

Параметр	Вариант № 1 (на подстанции)		Вариант № 2 (на поезде)	
Размещение	проще	+	труднее, но возможно	-
Установленная мощность	избыточна	-	номинал	+
Улучшение микроклимата	незначительно	-	существенно	+
Экономия электроэнергии	малая	-	значительная	+
Рассеивание электроэнергии по фидерным зонам	значительное	-	отсутствует	+
Эвакуация поездов из тоннеля при исчезновении питающего напряжения	проблематична	-	возможна	+
Возможность рекуперативного торможения в тоннеле	затруднена	-	выполнима	+
Гальваническая связь с контактной сетью	имеется	-	отсутствует	+
Электромагнитная совместимость с СЦБ и СВЯЗЬЮ (С)	требуется комплексное решение проблемы	-	не требуется	+
Наличие связи "поезд - НУ"	Требуется разработка датчиков напряжения	-	отсутствует	+
Реконструкция неперекрываемых токоразделов	необходима	-	не требуется	+
Вероятность выхода из строя КВ-агрегатов (тяговых трансформаторов)	имеется	-	отсутствует	+
Сохранения штатной динамики торможения / разгона	хуже	-	лучше	+
Суммарные эксплуатационные показатели (ремонтпригодность, квалификация обслуживающего персонала, надежность)	хуже	-	лучше	+
Экономические показатели (применение сложных импортных комплектующих устройств)	хуже	-	лучше	+

При «запирании» рабочей шины +825В подстанции более высоким напряжением НУ во время ее заряда при электродинамическом торможении имеет место чисто асинхронный режим работы «пары»: чередование фаз ~ 10 кВ и момента «запирания» КВ-агрегатов.

Наступят моменты времени, когда последовательные «запирания» будут совпадать с моментами включения конкретной фазы напряжения ~10 кВ. При этом произойдет резкое нарушение симметрии работы магнитопровода трансформатора, уравнительные токи в обмотке «Δ» не справятся с подобным возмущением. Возникнет ситуация, эквивалентная короткому замыканию в трансформаторе ( $X_L \rightarrow 0$ ) со всеми вытекающими последствиями.

Известно, что трансформаторы с  $S \geq 1000$  кВА замагничиваются за 2–3 периода частоты питающего напряжения.

7. Перенапряжения, броски и провалы напряжения, эквивалентные широкому диапазону частот, потребуют разработки комплекса специальных мер по обеспечению электромагнитной совместимости с работой устройств СЦБ и связи.

8. При исчезновении питающего напряжения +825В проблемным становится вопрос о выводе поездов с пассажирами из тоннеля, даже при достаточно большой избыточной емкости НУ.

В итоге предлагаемая идеология размещения накопительной установки на подстанции фактически сводится к использованию НУ в буферном режиме. Но для этого не нужна сложная и дорогостоящая система

управления, отпадает необходимость решения большого комплекса сложных электротехнических задач. Для метрополитенов этот режим не является актуальным из-за малых длин фидерных зон и, как следствие, малой величины падения напряжения в средней части зоны.

Рассмотрим **второй вариант**. Размещение НУ на поезде, практически со всех точек зрения, более предпочтительно.

На поездах типа «Русич» в подвагонном пространстве свободного места больше, чем на номерных. Расположение узлов и агрегатов НУ может иметь рассредоточенный характер, например, собственно накопитель можно устанавливать по частям на разных вагонах.

Существенными преимуществами второго варианта являются:

- отсутствие гальванической связи с контактной сетью;
- полная автономность поезда с НУ на борту, т. к. электромеханические характеристики двигателей обеспечивают необходимый тяговый момент при напряжениях НУ в несколько десятков вольт;
- гарантированная возможность оперативного вывода всех пассажиров поездов из тоннеля при исчезновении питающего напряжения;
- гарантированная возможность рекуперативного торможения с существенной экономией электрической энергии.

Сравнительные характеристики вариантов приведены в табл.

Исходя из принципиальных преимуществ размещения НУ на подвижном составе,

рассмотрим переходные электрические процессы в режиме торможения в силовой тяговой цепи вагона, оснащенного двигателями постоянного тока, так как основной парк подвижного состава на 90 % состоит из таких вагонов.

Исходная электрическая схема и условные обозначения заимствованы из (Л.2) и приведены на рис. 1.

Обозначения:

Е – э. д. с. тяговых двигателей М1–М4, перешедших в генераторный режим при торможении;

$i_a$  – якорный ток;

$i_b$  – ток возбуждения,

$R_T$  – штатный тормозной реостат;

$R_K$  – реостатный контроллер;

VS1, VS2 – тиристорные ключи;

$R_{ш}$  – шунтирующий реостат;

OB<sub>1</sub>–OB<sub>4</sub> – обмотки возбуждения;

КШ<sub>1</sub>, КШ<sub>2</sub> – контакты контакторов шунтирования OB<sub>1</sub>–OB<sub>4</sub>;

$L_a$  – индуктивность обмоток якоря и дополнительных полюсов;

$R_a$  – сопротивление обмоток якоря и дополнительных полюсов;

$L_b$  – индуктивность обмотки возбуждения;

$R_b$  – сопротивление обмотки возбуждения.

В силу симметрии двух силовых контуров схема рис. 1а трансформируется в схему рис. 1б, тиристоры VS1 и VS2 заменены ключом К.

При протекании равных тормозных токов каждого контура имеем равенство потенциалов:

$$\Phi_a = \Phi_b; \Phi_b = \Phi_c; \Phi_c = \Phi_d$$



Поэтому схема рис. 1б преобразована в схему рис. 1в, а тормозной реостат  $R_T$ , где выделилась вся энергия торможения, заменили накопительной емкостью  $C$ , состоящей из набора частных накопителей  $C_i$ .

Переходные процессы в этом случае представлены уравнениями (1):

$$2L_a \frac{di_a}{dt} = 2E - 2i_a \cdot R_a - (i_a - i_b) \cdot R_w(1 - \alpha) - \frac{2}{C_i} \sum_{i=1}^n \int_0^{T_i} i_a dt$$

$$2L_b \frac{di_b}{dt} = (i_a - i_b) \cdot R_w(1 - \alpha) - 2i_b \cdot R_b$$

где  $T_i$  – время торможения  $i$ -го интервала при включении  $C_i$ ,

$\alpha$  – относительная длительность импульсов ШИМ за период коммутации ключа  $K$ ,  
 $\sum_{i=1}^n T_i = T_{\text{торм}}$  – полное время электродинамического торможения.

Общий принцип управления процессом торможения при замене  $R_T$  накопителем  $C$  остается прежним, т. е. идет последовательная реализация трех режимов торможения, причем на каждом из них тока якоря  $i_a$  поддерживается примерно постоянным штатными тиристорным регулятором и авторежимным устройством.

При этом верхнее уравнение (1) трансформируется в три для трех режимов торможения, причем в каждом длительностью  $T_i$  – можно полагать значение тока  $i_a \approx \text{const}$ .

При торможении двигателя начинают работать с полным возбуждением (размыкаются контакты  $K_{Ш1}$  и  $K_{Ш2}$ ), что соответствует  $i_a = i_b$ .

В этом случае в первом приближении дифференциально-интегральная система (1) преобразовывается для каждого режима в алгебраическое уравнение (2):

$$2E = 2i_a R_a + \frac{2}{C_i} T_i \cdot i_a, \text{ или}$$

$$C_i = i_a \frac{T_i}{E - i_a \cdot R_a}$$

Поскольку значения токов по ступеням нормируются в диапазоне (270–370) А, то соотношение (2) позволяет определить область существования необходимых значений емкости  $C_i$  накопителя для каждого из этапов торможения. Например, для этапа:

$$T_1 = 5 \text{ с}; i_1 = 300 \text{ А}; E = 150 \text{ В};$$

$R_a = 0,063 \text{ Ом}$  (0,0465 + 0,0165), – паспортные данные двигателя ДК-117 А,  $C_1 \approx 12\text{Ф}$  – необходимая величина на один вагон.

### Выводы

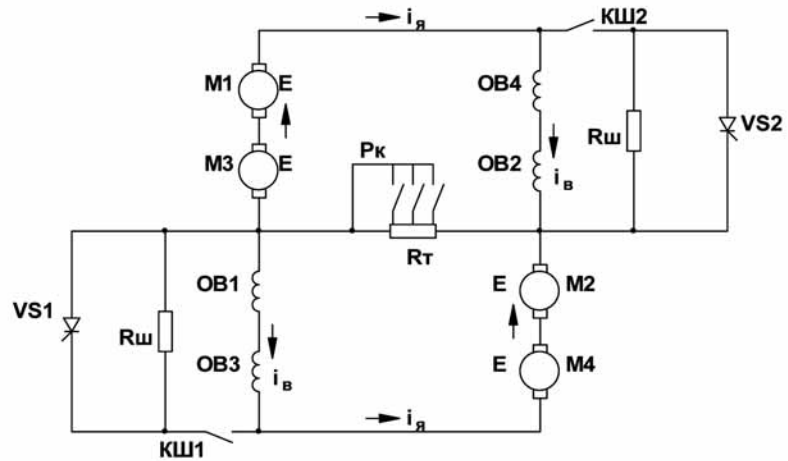
В данной статье обоснована техническая необходимость, своевременность и экономическая эффективность применения емкостного накопителя на поездах метрополитена.

Дан сравнительный анализ двух возможных вариантов размещения накопительной установки; сформулированы существенные преимущества бортового её расположения.

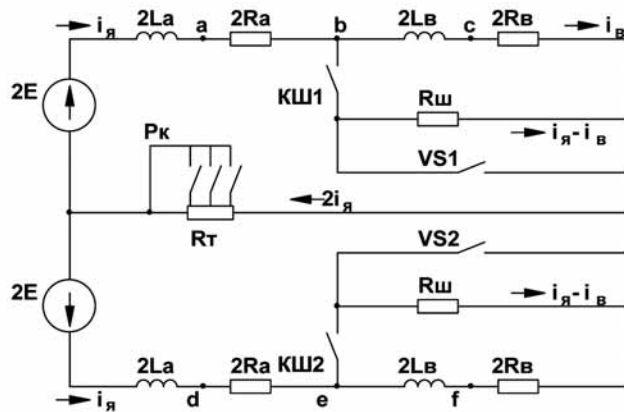
Сформулированы требования к выбору необходимых величин электрической емкости накопителя для рекуперативного торможения поезда.



а



б



в

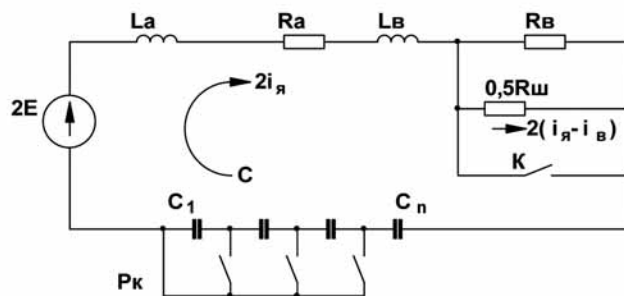


Рис. 1. Электрическая схема тяговой цепи: а – исходная (штатная) схема силовой цепи вагона; б – эквивалентная схема тяговой цепи; в – расчетная схема тяговой цепи с накопителем  $C$

# ДИАГНОСТИКА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В СИЛОВЫХ КАБЕЛЯХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

А. В. Петров, технический специалист ЗАО «Связькомплект»



Рис. 1. Последствия развития ЧР в кабеле

**Д**иагностика частичных разрядов (ДЧР) на сегодняшний день является чрезвычайно интересной и перспективной методикой, которая при достаточном ее развитии позволит эффективно и своевременно реагировать и устранять неисправности в силовых кабелях (СК) и электрических устройствах (ЭУ).

Важность данной методики обусловлена состоянием различных отраслей российской энергетики. Электрические кабели и оборудование, используемые сегодня, достигли в основной массе своего предельного срока службы. Нередки ситуации когда их надежность проверяется «вторым» и «третьим» сроками без надлежащего регламентного обслуживания. Как показывает практика, данная ситуация почти всегда приводит к выходу оборудования из строя и невозможности его восстановления. Вопрос, который так или иначе встает перед любой организацией, эксплуатирующей СК и ЭУ, не уникален: «Что делать?». Очевидными выходами из ситуации являются два: первый – замена оборудования, второй – поддержание рабочего состояния старого парка устройств. Первый вариант хорош тем, что потребитель получает новое, надежное оборудова-

ние. Его минус – большие финансовые расходы. Второй вариант требует гораздо меньше единовременных вложений. Ремонт или замену оборудования можно проводить постепенно, по мере необходимости. При этом с задачей своевременного обнаружения проблемных устройств поможет ДЧР.

На данный момент это наиболее эффективный метод поддержания ЭУ и СК «старого парка» в рабочем состоянии. Кроме того, ДЧР хорошо зарекомендовала себя при диагностике неисправностей вводимого в эксплуатацию низковольтного и высоковольтного оборудования, так как метод не требует проведения разрушающих воздействий, снижающих срок службы оборудования. Рассмотрим методику ДЧР подробнее.

Введем терминологию. ЧР – частичный искровой разряд малой мощности, образующийся в диэлектрической среде (твердой и жидкой) как внутри, так и на ее поверхности в оборудовании среднего и высокого напряжения. Появляясь в местах дефекта изоляции под воздействием таких факторов, как напряжение, воздействие окружающей среды, термическое воздействие, ЧР приводит к постепенному разрушению изоляции (пробоя) (рис. 1).

Данный факт позволяет заострить внимание на главном, а именно: наличие ЧР указывает на возникновение проблем в изоляции. По параметрам, характеризующим ЧР, можно судить о степени серьезности проблемы. Своевременно оценив ЧР, главные факторы вывода оборудования из строя можно устранить.

В общем случае ДЧР позволяет диагностировать:

- силовые кабели в бумажно-масляной изоляции и изоляции из сшитого полиэтилена;
- такие ЭУ, как силовые трансформаторы и вводы/выводы высокого напряжения, изоляторы, элементы распределительных устройств и элегазовые КРУЭ.

Диагностика ЭУ – это трудоемкая и объемная процедура, требующая детального и подробного повествования, поэтому в данном материале мы ограничимся рассмотрением диагностики только СК.

ДЧР в СК заключается в оценке величины ЧР, которая измеряется в пикокулонах. Информация о величине заряда несет в себе сведения о степени серьезности проблем с изоляцией. Поэтому первый ключевой момент в методике ДЧР – измерение величины заряда.

Для этих целей используются специальные приборы, например, установка OWTS (Oscillating Wave Test System) производства немецкой компании «SebaKMT». Измерение ЧР производится с помощью датчиков, которые существуют трех видов: электромагнитные, акустические и электрические. Для ЧР в СК обычно используют электрический датчик, два других, в основном, – при работе с ЭУ.

Главной проблемой для всех типов датчиков при определении уровня ЧР являются помехи частотного диапазона, которые мешают выделению полезной составляющей сигнала ЧР. Как показывает практика применения установок по диагностике ЧР у нас и за рубежом, спектр помех довольно широк. Процесс диагностики, в первую очередь, начинается с поиска наилучшего соотношения сигнал/шум. Оно используется для установления оптимальной частоты работы. Так, например, при работе с ЭУ поиск ведется в диапазоне от 50 Гц до 400 МГц; предпочтительный частотный спектр для СК, как показывают результаты практических исследований, обычно составляет от 150 кГц до 45 МГц. При этом учитываются такие параметры, как длина кабельной линии и наличие устройств, которые также могут вносить дополнительные помехи.

Рассмотрим как производится измерение ЧР на примере установки OWTS. В течение нескольких секунд она заряжает выбранную фазу кабеля переменным напряжением. Стандарты ДЧР указывают на необходимость подачи в диагностируемый кабель напряжения  $1,7 U_0$ , где  $U_0$  соответствует номинальному режиму работы кабельной линии. Модельный ряд установок OWTS позволяет вести диагностику СК с напряжением  $U_0$  вплоть до 150 кВ. После зарядки кабель через резонансную катушку замыкается на заземленный экран, что приводит к появлению затухающего синусоидального колебания. Они зажигают ЧР, которые затем измеряются установкой.

Точное измерение ЧР – это сложнейший процесс. Методы, используемые в приборах для ДЧР, основаны на больших объемах статистических данных, полученных в ходе десятков, а то и сотен тысяч измерений, проводимых при испытаниях в различных условиях и средах. Чем больше у производителя оборудования статистических данных, тем точнее осуществляется измерение. Именно поэтому зарубежные изготовители с огромным опытом имеют неоспоримое преимущество перед отечественными разработчиками установок.

Второй ключевой момент ДЧР заключается в анализе полученных данных. К сожалению, не существует однозначных методик по определению степени опасности источника ЧР. Главным фактором в интерпретации информации является профессионализм персонала, работающего с оборудованием, однако и здесь есть ряд общих замечаний. Опыт отечественных и зару-

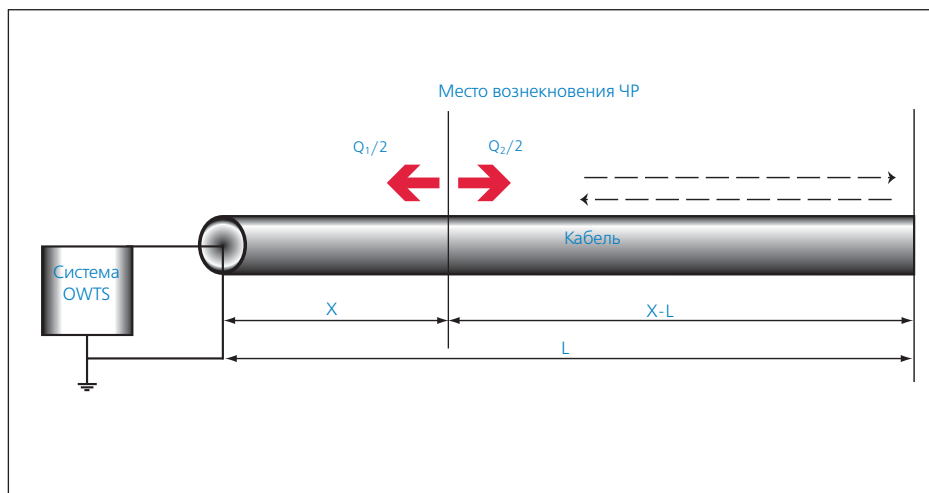


Рис. 2. Блок-схема метода локализации ЧР

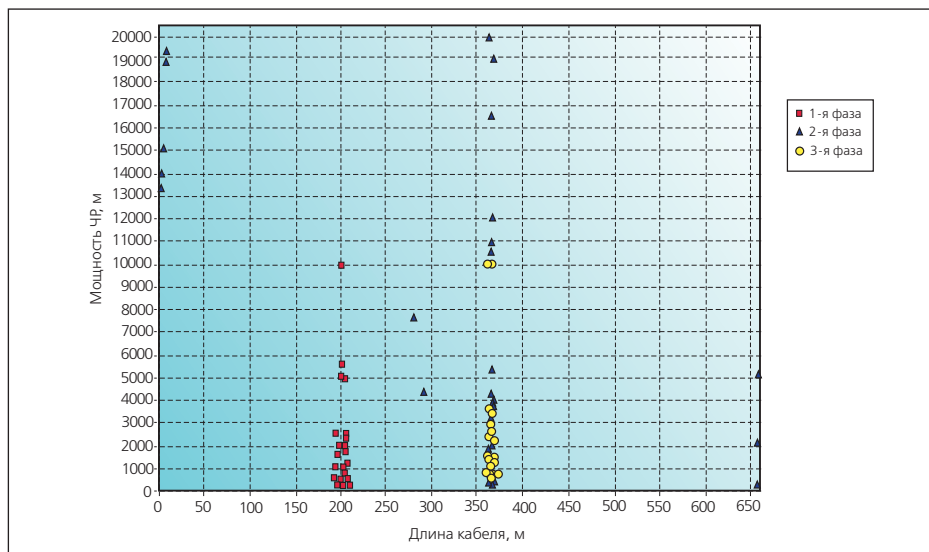


Рис. 3. Экран системы OWTS. Измерения ведутся по трем фазам параллельно

бежных разработок диагностического оборудования и практические знания свидетельствуют о том, что о степени опасности источника ЧР можно судить по скорости и динамике развития характеристик ЧР во времени. Именно поэтому диагностика ЧР является не разовой операцией, а циклом испытаний, которые следует проводить в течение как нескольких часов, так и нескольких суток.

Следующим важным аспектом ДЧР является способ локализации места возникновения ЧР. Обладая точными сведениями о месте нахождения дефекта (до 1 метра), необходимые работы по его устранению можно провести в кратчайший срок, избегав при этом простоев и дополнительных затрат. В зависимости от типов диагностики (СК или ЭУ) и используемых датчиков применяются различные методы локализации ЧР. В частности, для электрических датчиков – метод расчета времени распространения электромагнитных волн, вызванных ЧР, также известный как метод Вандервеля (рис. 2).

Для определения местоположения ЧР сначала измеряют временную задержку между моментами прихода к началу кабеля прямого и отраженного (от конца кабеля) импуль-

са ЧР, а затем вычисляют расстояние до места его нахождения.

Для максимально точной локализации ЧР учитывается много параметров, самыми важными из которых являются затухание волн ЧР и влияния помех на скорость их распространения. Для решения этих проблем, например в установках OWTS, используется специальный частотный диапазон работы (от 150 кГц до 45 МГц) и реализован алгоритм предварительной калибровки. Программное обеспечение OWTS создано с учетом накопленных данных об испытаниях во всех странах, куда поставлялись эти системы. Именно это и позволяет OWTS эффективно отстраиваться от помех (рис. 3). Также, помимо локализации и измерения ЧР, установки способны измерять  $\text{tg}\alpha$ , что дает возможность получить наиболее полную информацию о состоянии диэлектрика.

Установки ДЧР являются одним из самых эффективных инструментов для диагностики и устранения неисправностей в силовых кабелях и электрических устройствах. Благодаря установкам ДЧР ремонт и замену оборудования можно проводить постепенно, по мере появления реальной необходимости.



# ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ МИКРОПРОХОДЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ MTS-2000

А. М. Абрамов, А. Н. Семенов, А. Е. Дадаев, ООО «Компания Крот»



В последнее время строителям и ремонтникам подземных систем водоснабжения, водоотведения и энергоснабжения приходится постоянно сталкиваться с необходимостью выполнения работ в стесненных, исторически сложившихся районах Москвы, а также в новых, когда уже действуют проезжие участки улиц с интенсивной нагрузкой автотранспортом.

Особо проблематичными являются вопросы размещения строительных площадок при применении широко распространенных микрокомплексов для бестраншейного способа сооружения тоннелей и трубопроводов.

Кроме территорий для устройства стартовых и финишных котлованов (шахтных стволов), автокранов, обслуживающих их, и автоподъездов для вывоза грунта, при использовании микрокомплексов дополнительно требуются увеличенные площади для установки на строительной площадке оборудования, обеспечивающего их работу.

Серьезные осложнения возникают по организации строительных площадок с размещением котлованов, шахтных стволов и отдельных единиц оборудования, связанных между собой в определенной технологической зависимости различны-

ми трубопроводами, силовыми кабелями управления и т. п.

Так, контейнер управления приходится располагать на обресе шахтного котлована, чтобы оператор мог непосредственно видеть исполнителей в нем и голосом, жестами корректировать все их действия.

В определенной последовательности должны размещаться на площадке контейнер-сепаратор для первоначального отделения твердой фазы от жидкой составляющей пульпы, контейнеры с центрифугой для её осветления и сбора очищенной воды для повторного ее использования в замкнутом цикле горнопроходческих операций, а также оборудование для приготовления и подачи в строящийся тоннель бентонитовой суспензии.

Кроме того, на строительной площадке, при увеличившихся скоростях проходки, необходимо обеспечить складирование минимального количества труб для сооружаемого тоннеля и размещения крана для подачи их в котлован. Для вывоза грунта от сепарационного контейнера и контейнера осветления пульпы устраиваются подъездные дороги.

При таком жестком требовании взаимного расположения оборудования без возможности свободного размещения контейнеров по отношению к котловану, вынуждает размещать строительные площадки с частичным их выходом на проезжие участки улиц, нарушая движение автотранспорта.

Перечисленные единицы оборудования при проходке работают одновременно, имеют свои электромеханические, гидромеханические приводы и посты управления. Работу каждого из них обеспечивают разные операторы, которые получают задания по режимам процесса от главного оператора, находя-

Рис. 1. Главный пост управления в операторском отсеке контейнера





**Рис. 2.** Видекамера с громкоговорителем, размещенная на обресе котлована



**Рис. 3.** Видекамера, расположенная непосредственно в котловане

щегося в контейнере управления, голосом и жестами. Ненадежность и неудобства при такой системе связи очевидны. В лучшем случае затягиваются межоперационные паузы, снижаются темпы проходки, а несогласованность в действиях исполнителей может приводить к авариям и несчастным случаям.

Общеизвестны и широко применяются во многих отраслях промышленности, в том числе на современных большемасштабных комплексах и некоторых микрокомплексах, многопостовые видеосистемы с телефонной, громкоговорящей и обратной связью. При использовании этих систем руководитель или главный оператор может наблюдать и управлять операциями, выполняемыми на всех этапах и участках технологического цикла, практически с мгновенной реакцией и с более детальным обзором происходящего на местах расположения видеокamer.

По решению Техсовета ООО «Компания Крот» (под руководством оператора микрокомплекса А. Е. Дадаева и при непосредственном участии оператора А. Г. Абрамова и механика комплекса В. Д. Шпака) на объекте «Перекладка Реутовского канализационного коллектора» (начальник строительного участка А. А. Кошцев) микрокомплекс MTS-2000 был оборудован вышеописанными системами. Главный пост управления с дисплеем системы связи, микрофоном и репродукторами обратной связи размещен в операторском отсеке контейнера, в котором находятся управляющие, электронная, электрическая, гидравлическая и другие системы. На рис. 1 дисплей связи находится справа от главного дисплея управления. Одна видекамера с громкоговорителем размещена на обресе котлована (рис. 2), другая – непосредственно в котловане (рис. 3), в котором смонтирована прессовая рама. На рис. 4 изображена прессовая рама на дисплее связи. Стартовый котлован – наиболее ответственный участок, где в процессе

проходки выполняются основные операции горнопроходческого цикла, начиная от ввода щита в забой и заканчивая установкой и стыковкой про-давливаемых труб с монтажом и демонтажом наращиваемых коммуникаций.

По одной видекамере установлено на сепарационном контейнере, в контейнере осветления сепарированной пульпы и на пунктах загрузки грунта в автосамосвалы. На дисплее руководителя одновременно можно наблюдать за действиями исполнителей на нескольких участках работы и соответственно корректировать взаимодействие этих исполнителей.

Впервые примененная система дистанционного наблюдения и управления работой отдельных единиц оборудования при строительстве тоннелей микропроходческим комплексом MTS-2000 показала ряд существенных и очевидных преимуществ, влияющих на производительность и безопасность работ.

Особо следует отметить такой момент при использовании этой системы, как возможность свободного и более компактного размещения оборудования на стройплощадке, а в отдельных случаях – выноса места их установки за пределы ограниченного пространства выполнения работ по подаче труб в котлован. Как показала практика, даже контейнер с операторским отсеком может по местоположению не быть связанным со стартовым котлованом.



**Рис. 4.** Прессовая рама на дисплее связи

При проведении последней проходки операторский контейнер не пришлось переставлять во время демонтажа коммуникаций для сооружения участка тоннеля в прямо противоположном направлении.

Предстоящие работы по прокладке тоннелей микрокомплексом MTS-2000 с применением опробованных вышеописанных систем в центральной части города и в районах с близко расположенными транспортными магистралями помогут более компактно организовать строительные площадки и тем самым, в какой-то мере, снизить напряженность в транспортных проблемах.

В качестве развития мероприятий, которые осуществлены и описаны выше, на наш взгляд, было бы целесообразно предложить разработчикам и изготовителям микрокомплексов, для большей возможности маневрирования расстановкой оборудования на строительной площадке, отсека оператора от контейнера с силовым гидравлическим, электрическим и другим оборудованием.



# ЗАСЕДАНИЕ РАСШИРЕННОГО СОСТАВА ПРАВЛЕНИЯ

**18** марта 2009 г. состоялось очередное заседание расширенного состава правления Тоннельной ассоциации. Вниманию собравшихся была предложена следующая повестка дня.

1. Отчет о деятельности Исполнительной дирекции ТА России за 2008 г. Обсуждение и принятие основных направлений деятельности ТА России на 2009 г.

2. Отчет ревизионной комиссии о работе президиума и правления ТА за 2008 г.

3. Информационное сообщение генерального директора Выставочной компании «Глобал Экспо».

4. Утверждение откорректированного «Положения» о проведении 5-го Конкурса в 2009 г. «На лучшее применение прогрессивных технологий при проектировании и строительстве подземных объектов».

5. Довыборы членов правления ТА России.

6. Принятие постановления правления ТА России.

7. Вручение дипломов и знаков ТА России.

По первому вопросу с отчетным докладом о деятельности Исполнительной дирекции ТА России за 2008 г. выступил ученый секретарь Правления И. С. Бубман.

Он, в частности, отметил, что за отчетный период Тоннельная ассоциация активно продолжала участвовать в содействии строительству различных объектов и подземных сооружений, разработке рекомендательных и нормативных документов, проведении научно-технических совещаний, встреч, семинаров, в мероприятиях Международной Тоннельной ассоциации, информационного обеспечения членов ассоциации через журнал «Метро и тоннели» и другие издания.

В соответствии с Уставом главными задачами ТАР являются содействие разными формами и методами научно-техническому прогрессу и повышению эффективности, качества и безопасности строительства и эксплуатации подземных объектов. В отчетный период правление активно реализовывало эти основные положения.

В области метро- и тоннелестроения за период с 2003 по 2008 гг. было проложено 48 км линий метрополитенов в разных городах России, только за истекший год – около 8 км. Их сооружение активно продолжается.

На сети железных дорог широко развернулась проходка тоннелей, строительство которых было начато еще в 80-е годы прошлого столетия.

В сложных условиях движения поездов ведутся работы по ремонту, переустройству и реконструкции тоннелей, построенных в начале XX в.

К 2008 г. транспортная инфраструктура Москвы обогатилась рядом больших автомобильных тоннелей, проложенных в местах пересечения наиболее крупных магистралей города и предназначенных для расположения транспортных потоков в разных уровнях. Это

повысило скорость, увеличило пропускную способность перекрестков, обеспечило безопасность движения. К таким объектам относятся Кутузовский, Гагаринский и Лефортовский тоннели, 3-е транспортное кольцо. В конце 2008 г. закончено строительство Серебряноборских тоннелей.

С 2007 г. эксплуатируется подземная станция «Аэропорт Внуково», обеспечивающая бесперебойную доставку пассажиров от Киевского вокзала до аэропорта.

В перспективе должны быть связаны все основные аэропорты с центром Москвы скоростными железнодорожными электрифицированными поездами. На сегодняшний день эта задача уже частично решена для аэропортов Внуково, Домодедово, Шереметьево.

В 2008 г. начато строительство хордовых линий – Южной и Северной рокад и проектирование тоннелей 4-го транспортного кольца. При этом предполагается использование ТПМК диаметром 19 м с гидропригрузом фирмы «Херренкнехт АГ».

Проектирование 4-го транспортного кольца выполняет Москомархитектура, НИИПИ Генплана Москвы, Метрогипротранс, Мосинжпроект и ряд других институтов. Тоннельная ассоциация участвует в этой работе, координируя ее, а также выполняет разработку проектов и экспертизу промышленной безопасности и противопожарной защиты по ним.

В настоящее время, наряду с сооружением транспортных подземных систем, большие объемы работ осуществляются в различных городах России по прокладке тоннелей различного коммунального назначения – канализационные, для прокладки инженерных коммуникаций, гидротехнические.

С целью расширения информации о строительстве новых подземных объектов, применения прогрессивных технологий, конструкций и оборудования для строительства подземных сооружений Тоннельная ассоциация и Выставочная компания «Глобал Экспо» с участием Московского Государственного горного университета организовали с 2004 г. проведение ежегодных Международных выставок «Подземный город». Это наше новое и перспективное направление работы.

Правительство Москвы в мае 2007 г. приняло Постановление «О Концепции освоения подземного пространства и основных направлений развития подземной урбанизации города Москвы», которое в 2008 г. широко и успешно реализовывалось при проектировании и строительстве ряда объектов.



Президиум заседания правления

На современном этапе градостроительного развития Москвы в условиях сокращения территориальных резервов для создания и развития благоприятной среды, жизнедеятельности, в целях устойчивого развития города необходимы опережающие темпы освоения подземного пространства.

Для оказания содействия правительству Москвы Тоннельная ассоциация России была приглашена для обсуждения программы и внесла свои предложения для решения данной проблемы.

Другим городом, где активно ведется разработка материалов по освоению подземного пространства, стал Екатеринбург.

Продолжалась работа по новому направлению деятельности ассоциации – сопровождение строительства крупных подземных объектов и составление научно-технических отчетов. Это позволяет оценить все особенности проектирования и возведения, изучить и сохранить информацию об опыте сооружения подобных объектов.

За 2008 г. Экспертный научно-технический Совет ТА России провел 12 научно-технических совещаний, на которых рассматривались наиболее проблемные и сложные вопросы. Например, в г. Уфе (Башкортостан) из-за недофинансирования было приостановлено строительство двухчлочкового автомобильного 4-полосного тоннеля длиной 1249 м, который призван решать проблемы как Федеральной дороги М-5 (Москва – Челябинск), так и городского транспорта столицы Башкортостана. В настоящее время, по информации руководства УС-30, проходка тоннеля продолжена.

В последнее время, особенно в 2008 г., значительно расширилась деятельность Тоннельной ассоциации по вопросам экспертизы промышленной безопасности при строительстве тоннелей и подземных сооружений.

К настоящему времени Тоннельная ассоциация России стала экспертным центром под руководством Экспертного научно-технического Совета по рассмотрению вопросов промышленной безопасности.

В 2008 г. разработано для различных строек Москвы, Челябинска, Кавказа, Уфы и других регионов России 20 проектов промышленной безопасности и противопожарной защиты объектов в период проведения работ.

Продолжалась работа по созданию саморегулируемых организаций. 10 марта 2009 г. в Тоннельной ассоциации России было проведено совещание с привлечением генерального директора Некоммерческого партнерства «Объединение строителей подземных сооружений, промышленных и гражданских объектов» С. Н. Алпатова.

Участники совещания пришли к единому мнению, что в настоящее время Некоммерческое партнерство «Объединение подземных строителей» выполнило большой объем работ по подготовке к переходу на саморегулирование.

В связи с переходом членов ТА России на саморегулирование, ТА России сосредоточила усилия по организации разработки технических стандартов и правил саморегулируемой организации, сертификации оборудования, аттестации работников и членов саморегулируемой организации.

В 2008 г. ТА активно сотрудничала с Международной Тоннельной ассоциацией. По установившейся традиции ежегодно проводились заседания Генеральной ассамблеи МТА, Международных тоннельных конгрессов, на которых рассматривались актуальные вопросы мирового тоннельного строительства и организационная деятельность МТА.

В предстоящий период деятельности Тоннельной ассоциации на 2008–2012 гг. в стране намечены и будут выполняться большие объемы в областях тоннельного и подземного строительства, разрабатываться новые проекты, совершенствоваться инженерные системы в эксплуатации объектов.

В 2009 г. это, прежде всего, относится к реализации освоения подземного пространства в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и других крупнейших городах России, включая метрополитен, прокладке автодорожных и пешеходных тоннелей и инженерных коммуникаций.

Большие объемы предстоит выполнить по сооружению тоннелей на дорогах вокруг Сочи и к местам проведения зимней Олимпиады 2014 г., где предстоит возвести более 30 км различных тоннельных объектов.

Продолжает быть актуальной информационно-издательская деятельность Тоннельной ассоциации, которая осуществляется через журнал «Метро и тоннели». В нем выступают ученые и специалисты по новым научно-исследовательским работам, по новым технологиям строительного процесса.

По всем проводимым техническим конференциям в 2008 г. издавались тезисы выступлений и печатались в объеме с таким расчетом, чтобы обеспечить всех членов Тоннельной ассоциации.

Доклад ревизионной комиссии о работе президиума и правления ТА России за 2008 г. представил её председатель, проф. МГУПС (МИИТ) В. К. Сергеев.

Ревизионная комиссия отмечает, что намеченная программа работ на 2008 г. в основном выполнена. Существенных недостатков и нарушений в работе и хозяйственной деятельности не выявлено.

Отчет ревизионной комиссии был утвержден. По итогам года финансово-хозяйственная и производственная деятельность признана удовлетворительной.

С информацией о предстоящем в конце 2009 г. форуме «Подземный город – 2009» выступила генеральный директор Выставочной компании «Глобал Экспо» Т. И. Озимук.

Участники заседания правления согласились с откорректированной редакцией «Положения» о 5-м Конкурсе, утвердили его и приняли решение в дальнейшем при проведении 5-го и последующих Конкурсов руководствоваться им.

Руководство Исполнительной дирекции внесло предложение ввести в состав правления ТА России дополнительно:

- Чернякова Андрея Валерьевича – президента НПО «Космос»;
- Рязанцева Геннадия Ивановича – генерального директора ГУП «Мосинжпроект»;
- Ветошкина Николая Ивановича – заместителя генерального директора НПО «Мостовик»;
- Летуновского Алексея Михайловича – генерального директора ДВГСК.

Данное предложение было единогласно принято.

На заседании правления были вручены Дипломы и Знаки 4-м коллективным и 15-ти индивидуальным вновь принятым членам ТА России.

Почетным членом ТА России избран заместитель главного инженера ГУП «УС-30» Сергей Юрьевич Кулаков.

Союз НИО и АИН России за работу «Новые эффективные конструкции, технологии их возведения и геотехническое обеспечение при строительстве и эксплуатации Санкт-Петербургского метрополитена» наградили Золотой медалью им. В. Г. Шухова коллектив авторов из Ленметрогипротранса и Ленметростроя в составе:

- Вадима Николаевича Александрова;
- Константина Петровича Безродного;
- Георгия Рафаэльевича Захарова;
- Николая Ивановича Кулагина;
- Александра Ивановича Салана;
- Юрия Александровича Филонова.

Расширенное заседание правления Тоннельной ассоциации постановило.

1. Президиуму правления и Исполнительной дирекции продолжить работу по реализации решений, принятых на V отчетно-выборной конференции и заседании правления Тоннельной ассоциации России от 29.03.2008 г., определенных в «Основных направлениях работы на период 2008–2012 гг.».

2. К приоритетным направлениям следует отнести:

- участие в разработке Программы и проектной документации строительства транспортных тоннельных и подземных сооружений и объектов инфраструктуры для проведения зимней Олимпиады 2014 г.;

- участие в работах по освоению подземного пространства в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и других крупных городах России, включая разработку в ПОСах разделов «Промбезопасность и противопожарная защита»;

- проведение экспертиз промышленной безопасности на строительство и реконструкцию технических устройств, зданий и сооружений на основных производственных объектах;

- организация подготовки и участие в III Международном форуме «Строительство городов» с выставкой «Подземный город» в ноябре 2009 г.;

- проведение научно-технических конференций;

- подготовка и участие в Международном тоннельном конгрессе «Безопасность в тоннелестроении – для городов и окружающей среды» в Будапеште (Венгрия) в мае 2009 г.;

- участие совместно с Департаментом градостроительной политики города Москвы и МГУ в разработке перспективной темы «Строительство коммунальных коллекторных тоннелей без вторичной отделки»;

- дальнейшее расширение деятельности в области научно-технического сопровождения проектирования в строительстве новых подземных сооружений и составление научно-технических отчетов;

- активизация работы веб-сайта ассоциации для связи президиума и дирекции правления с отделениями в регионах и на предприятиях, членами ТА и информации общественности о работе ТАР.

3. Рекомендовать руководителям региональных отделений Тоннельной ассоциации России и отделений на предприятиях активизировать деятельность организаций и специалистов в регионах путем проведения встреч, технических совещаний, проведения экспертиз промышленной безопасности, участия в рассмотрении сложных вопросов строительства объектов.

4. Расширить привлечение членов ТАР и других организаций, осваивающих подземное пространство, в учрежденное Тоннельной ассоциацией России и ОАО «Метрострой» Санкт-Петербурга Некоммерческое партнерство «Объединение строителей подземных сооружений, промышленных и гражданских объектов» (НП «Объединение подземных строителей»).

5. Президиуму правления и Исполнительной дирекции в апреле 2009 г. подготовить документ в органы государственной власти РФ с обоснованием необходимости выработать дополнительные требования к саморегулируемым организациям, выдающим свидетельства о допуске к работам, связанных с освоением подземного пространства, т. к. эти работы относятся к особо опасным и технически сложным, и исключить выдачу таких свидетельств неспециализированными саморегулируемыми организациями.

6. Работу президиума правления за отчетный период признать удовлетворительной.



# КОНДАТ – все, что нужно для щитовой проходки

**Герметизирующий состав  
для хвостового уплотнения**

**Герметизирующий состав  
для защиты главного подшипника**

*Продукт HBW – единственная смазка, рекомендуемая европейскими и североамериканскими производителями тоннелепроходческих комплексов для защиты главного подшипника*

**Трансмиссия**

**Гидравлика**

**Консистентная смазка**

**Кондиционер грунта**

**Присадки и полимеры**

**Адрес во Франции:**

Avenue Frederic Mistral-B.P. 16 - 38670 Chasse-sur-Rhone, France  
tel. +33 478 07-38-45, fax +33 478 07-37-67  
tmsi@condat.fr, www.condat.fr

**Представительство в России и СНГ:**

Россия, 107078, Москва, ул. Новорязанская, 16, офис 20  
тел. : (495) 724-74-81,  
факс: (499) 265-79-51



## ВНИМАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ



**Продается тоннелепроходческий комплекс с грунтопригрузом EPB 3730 для строительства коллекторов диаметром 3600 мм производства IHI Corporation (Япония). Состояние отличное. Имеется разрешение Ростехнадзора на применение. Возможна поставка ж/б блоков обделки или форм для их изготовления. Местонахождение – г. Москва.**

**e-mail: [tst99mex@hotmail.com](mailto:tst99mex@hotmail.com)**

**Тел. : (495) 970-72-07**

**(495) 627-36-05**