

Журнал  
Тоннельной ассоциации России

## Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

## Зам. председателя редакционной коллегии

В. М. Абрамсон, канд. эконом. наук  
И. Я. Дорман, доктор техн. наук

## Ответственный секретарь

Г. И. Будницкий

## Редакционная коллегия:

В. П. Абрамчук  
В. Н. Александров  
В. П. Антощенко  
М. Ю. Беленький  
А. Ю. Бочкарев, канд. эконом. наук  
Н. Н. Бычков, доктор техн. наук  
С. А. Жуков  
А. М. Земельман  
Б. А. Картозия, доктор техн. наук  
С. В. Мазеин, доктор техн. наук  
И. В. Маковский, канд. техн. наук  
В. Е. Меркин, доктор техн. наук  
М. А. Мутушев, доктор техн. наук  
А. А. Пискунов, доктор техн. наук  
М. М. Рахимов  
М. Т. Укшебаев, доктор техн. наук  
Е. Ф. Чумаков  
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук  
Е. В. Цекудов, канд. техн. наук

## Тоннельная ассоциация России

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

## Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71  
127521, Москва,  
ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,  
оф. 4206  
e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

## Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

## 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», 2014

№ 1 2014

## Панорама

2

## Технологии строительства

Опыт проходки автотранспортных тоннелей  
при пересечении с действующим железнодорожным  
тоннелем на трассе дублера Курортного проспекта в г. Сочи 6

Ю. С. Фролов, Н. А. Коньков, Б. Д. Пеньков,  
Д. А. Соловьев, Ю. А. Мордвинков, В. В. Данилов

Применение передовых технологий  
при строительстве Минского метрополитена 11

А. Е. Сквернюк

## Вентиляция

CFT GmbH Compact Filter Technic – предприятие,  
делающее воздух чистым 16

Инновационные направления  
в создании систем вентиляции метрополитена 18

С. Г. Елгаев, М. А. Мутушев

## Тоннельная обделка

Резиновые эластомерные уплотнители  
для сегментов тоннельной обделки 20

Вернер Грабе

## Обобщая опыт

Вертикальные и наклонные тоннели в транспортном  
строительстве (эволюция конструктивных решений  
и технологий сооружения) 22

В. А. Гарбер

## Подвижной состав

Инновационный метропоезд «НеВа».  
Тягово-энергетические испытания 26

В. А. Мнацаканов

## Щитовая проходка

Разработка оборудования и методов исследования  
кондиционеров грунта для ТПМК с грунтопригрузом 32

Л. М. Капралова, Э. Д. Пенджиев, Е. И. Грошовкин,  
Л. С. Машина, А. Л. Новиченко, С. В. Самарский

# СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Новая станция  
Московского метрополитена  
«Деловой центр»

фото Александра Попова  
(russos.livejournal.com)

## ОТКРЫТ УЧАСТОК КАЛИНИНСКО-СОЛНЦЕВСКОЙ ЛИНИИ МОСКОВСКОГО МЕТРО

**С 31 января 2014 г. участок новой Калининско-Солнцевской линии метро от станции «Деловой центр» до «Парка Победы» открыт для пассажиров. Время в пути займет 2,5 мин.**

Участок Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена от станции «Деловой центр» до «Парка Победы» (по проекту ОАО «Метротранс») был введен в эксплуатацию 26 декабря 2013 г. Мэр Москвы Сергей Собянин принял участие в пробном запуске поезда и дал поручение подрядчику ЗАО «Объединение «ИНГЕОКОМ» закончить пуско-наладочные работы на объекте до конца января. Метростроители завершили тестирование технологического оборудования и средств автоматизации в намеченный срок.

Данный участок – первый этап формирования Калининско-Солнцевской линии. В дальнейшем он будет соединен с Калининской линией перегонном «Деловой Центр» – «Третьяковская» и продлен от станции «Парк Победы» в сторону Раменок, Солнцево и Ново-Переделкино.

Эксплуатационная длина участка «Деловой центр» – «Парк Победы» составляет 3,41 км. В связи с отсутствием оборотных тупиков на станциях на линии временно организовано челночное движение поездов. Составы курсируют по левому перегонному тоннелю. Время в пути составляет 2,5 мин, время полного оборота – 10 мин.

Проходка перегонного тоннеля от станции «Деловой центр» в

сторону «Парка Победы» велась с помощью тоннелепроходческого комплекса «София» фирмы Robbins. За десять месяцев щит преодолел расстояние в 1888 м. Трасса линии прошла под 3-м транспортным кольцом, Малым кольцом Московской железной дороги, Москвой-рекой, Кутузовским проспектом, а также под действующей Арбатско-Покровской линией метро. Проходка велась на глубине 86–88 м в сложных инженерно-геологических условиях, в том числе в твердых скальных породах. Новый перегонный тоннель стал одним из самых глубоких в Московском метрополитене.

Сокращение сроков строительства линии стало возможным благодаря применению новых технологий и нестандартных инженерных решений. При проходке на данном участке впервые в Москве был использован уникальный способ выдачи грунта на поверхность – с помощью вертикального конвейера. Сначала отработанная порода попадала на горизонтальную конвейерную ленту самого ТМПК, а затем на вертикальный конвейер.

На станции «Деловой центр», также как и на станции «Выставочная» применена уникальная немецкая технология – вибро-



путь. Конструкция пути, по которому пойдут поезда, представляет собой монолитную плиту, залитую на специальных пружинах. Вибропуть находится как бы подвешенным в воздухе, что позволяет ему гасить вибрации от движущихся поездов, тем самым защищая небоскребы ММДЦ «Москва-Сити» от их негативно-го воздействия.

Еще одно нестандартное инженерное решение было реализовано метростроителями при сооружении монтажной камеры, откуда стартовал щит «София». В котлован шириной всего 8 м по частям был опущен и собран девятиметровый щит. Разработка обычной монтажной камеры шириной около 25 м повлекла бы за собой перекрытие

движения в районе ММДЦ «Москва-Сити».

ЗАО «Объединение «ИНГЕОКОМ» является подрядчиком по строительству объекта «Участок Калининско-Солнцевской линии от станции «Деловой Центр» до станции «Парк Победы». Государственный заказчик – Департамент строительства города Москвы. Строительство объекта велось с декабря 2011 г. по декабрь 2013 г. Первый этап ввода линии в эксплуатацию предусматривает строительство станции «Деловой Центр», организацию челночного движения составов по левому перегонному тоннелю между станциями «Деловой Центр» и «Парк Победы» и устройство путевого развития за станцией «Парк Победы».



## СООРУЖЕНЫ ОБА ПЕРЕГОНА ОТ «ЮГО-ЗАПАДНОЙ» ДО «ТРОПАРЕВО» В МОСКВЕ

15 января 2014 г., спустя почти 7 месяцев коллектив ООО «Тоннель-2001» Мосметростроя завершил строительство правого перегонного тоннеля от станции «Юго-Западная» до «Тропарево» на строящемся участке Сокольнической линии Московского метрополитена.

На прохождении всего подземного маршрута длиной 1330 м с помощью тоннелепроходческого комплекса «Ева» производства фирмы «Herrenknecht» с гидропригрузом забоя проходчики затратили пять с половиной месяцев. Этому предшествовал монтаж ТПМК, занявший чуть больше месяца.

Ранее этот ТПМК выполнил проходку левого перегонного тоннеля на этом же участке. Учитывая сложности, с которыми он

там встретился, механическая служба провела тщательную санацию проходческого комплекса, усилила ответственные узлы пульпопровода. В тоннеле, как обычно, слаженно действовали четыре опытные проходческие бригады. Их квалификация была особенно важна на этом объекте, так как трасса правого тоннеля большей частью – на протяжении около 1 км – проходила под проспектом Вернадского. И нигде никаких просадок зафиксировано не было.

В ближайшие дни головная часть хорошо поработавшего ТПМК будет полностью выдвинута из тоннеля, и незамедлительно начнется демонтаж ротора.

Следующий же объект для «Евы» намечен на том же протяжении Сокольнической ли-



нии в южном направлении. Весной метростроевцы начнут прокладывать перегонный тоннель от ст. «Саларьево» до «Румянцево».

Напомним, ещё два ТПМК «Анастасия» и «Лия» синхронно продвигаются от ст. «Тропарево»

в сторону ст. «Румянцево», сооружая параллельные перегоны для будущей линии метро.

Ввод в эксплуатацию нового участка Сокольнической линии запланирован в 2014 г.



Материал подготовлен пресс-службой Московского метростроя

## ПЕРВЫЙ ДВУХПУТНЫЙ ТОННЕЛЬ МЕТРО В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

**23 января 2014 г. в Санкт-Петербурге состоялся запуск тоннелепроходческого механизированного комплекса, с помощью которого будет построен первый в Петербургском метрополитене двухпутный перегонный тоннель.**

В январе 2014 г. на строительной площадке станции «Южная» («Шушары») закончены работы по монтажу тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) S-782, который был изготовлен по заказу ОАО «Метрострой» специально для строительства тоннелей метрополитена диаметром 10,3 м. В тоннеле, построенном с помощью данного оборудования, разместятся сразу два пути для обеспечения прохода поездов в двух направлениях.

В церемонии запуска ТПМК приняли участие губернатор Санкт-Петербурга Георгий Полтавченко, генеральный директор ОАО «Метрострой» Вадим Александров, вице-губернаторы Санкт-Петербурга Сергей Вязалов и Марат Оганесян, метростроевцы. Как отметил Георгий Полтавченко, запуск комплекса в дни, когда Метрострой отмечает 73-й день рождения (предприятие основано 21 января 1941 г.) – это знаковое событие в жизни города и отечественного метростроения, наглядный пример перехода на инновационный путь развития. Новый проходческий щит, изготовленный в Германии, позволит значительно ускорить строительство метро, повысить качество работ, сократить сроки сооружения тоннелей, сделать их более надежными и долговечными.

«Строительство новых станций серьезно улучшит транспортную доступность южных районов Санкт-Петербурга, которые сейчас активно развиваются», – отметил Георгий Полтавченко. Пропускная способность линии составит около миллиона пассажиров в сутки. Это первый в России опыт по сооружению тоннелей метрополитена такого типа, который стал возможен благодаря разработкам петербургских проектировщиков и строителей. В дальнейшем щит будет использоваться при строительстве других линий метрополитена и автомобильных тоннелей.

Губернатор Санкт-Петербурга подчеркнул, что развитие транспортной инфраструктуры, и в первую очередь метрополитена – один из главных приоритетов

правительства города на ближайшую перспективу. Принято решение значительно увеличить расходы на строительство новых станций и веток. На эти цели за три ближайших года городской бюджет направит 73 млрд руб. «До 2020 г. мы планируем открыть не менее 12 станций в разных районах города», – сказал Георгий Полтавченко.

Георгий Полтавченко поддержал предложение Вадима Александрова в соответствии с традицией строителей метро дать комплексу женское имя – «Надежда».

Договор с фирмой Herrenknecht AG на изготовление ТПМКС-782 был подписан ОАО «Метрострой» 16 апреля 2012 г. в Санкт-Петербурге при участии экс-канцлера Германии Герхарда Шредера. Спустя почти год 28 февраля 2013 г. на заводе в городе Шванау (Германия) состоялось тестирование работы всех систем ТПМК и приемка оборудования.

Основное назначение данного оборудования – проходка двухпутных тоннелей метрополитена. Первый такой тоннель запланирован на участке Фрунзенско-Приморской линии Петербургского метрополитена от станции «Проспект Славы» до станции «Южная». В практике отечественного метростроения опыт сооружения двухпутных тоннелей с использованием ТПМК с грунтопригрузом отсутствует, и петербургские метростроители станут в этой области первопроходцами.

В 2013 г. силами метростроителей проведены все подготовительные мероприятия: освоена площадка станции «Южная» («Шушары»), сооружено более 200 м тоннеля, необходимых для размещения в нем ТПМК и периферийного оборудования, построен стартовый котлован, в котором смонтированы основные элементы ТПМК. Со стороны станции «Международная» пройдены два перегонных тоннеля традиционного диаметра 5,6 м в сторону станции «Проспект Славы», а также демонтирована камера, в которой ТПМК завершит проходку. Помимо этого в новом производственном комплексе на



Губернатор Санкт-Петербурга Г. С. Полтавченко и руководитель Метростроя В. Н. Александров в кабине пилота ТПМК



Сооружение стартового котлована

площадке ЗАО «Метробетон», включающем современные карусельную формовочную линию и арматурное оборудование, изготовлено более 300 колец.

Сотрудничество с компанией Herrenknecht AG и ОАО «Метрострой» началось с покупки ТПМК, предназначенного для проходки микротоннелей различного назначения (коллекторы, нефте и газопроводы и пр.). В 2007 г. организации подписали договор об изготовлении первого в мире ТПМК для проходки наклонных ходов. Это оборудование позволило реализовать сложнейший проект строительства станции «Адмиралтейская» в самом сердце Петербурга. С его помощью также построены наклонный ход станции «Обводный канал» и «Спасская». Новый ТПМК S-782 представляет собой схожий по своим основным техническим характеристикам механизм.

Особенность двухпутного участка заключается в большей степени в сооружении постоян-

ных внутренних конструкций тоннеля. Благодаря проходке одного тоннеля вместо двух, отпадает необходимость в дорогостоящем и трудозатратном строительстве камер съездов, эвакуационных сбоек, переходов из тоннеля в тоннель и других сопутствующих выработок. Соответственно сократятся и сроки работ. Станционные комплексы будут представлять собой тоннель с боковым размещением платформ по такому же принципу, как и в существующих сегодня наземных станциях. Для размещения тяговых подстанций и подсобных помещений различного назначения там, где это возможно, будет использована поверхность станции, а эвакуационные выходы преимущественно разместятся в створах. За счет размещения путей в одном тоннеле существенно сократится количество дорогостоящего кабеля, необходимого для функционирования различных систем метрополитена. Все это вместе позволит сделать данный участ-



**В. Д. Кузнецов, директор УМ – филиал ОАО «Метрострой», С. Ю. Чумаков, гл. инженер УМ – филиал ОАО «Метрострой», Н. А. Лаптев, начальник ТО – главный технолог ОАО «Метрострой», А. Л. Шахов, зам. генерального директора ЗАО «Управление-15 Метрострой»**

ток метрополитена наиболее безопасным, снизит стоимость строительства, а благодаря современной высокоточной обделке, изготовленной на новой недавно запущенной конвейерной автоматизированной линии производства блоков завода «Метробетон», позволит добиться наивысшего качества конструкции тоннеля и значительного увеличения срока службы объекта.

**Старков Алексей Юрьевич, заместитель генерального директора – главный инженер ОАО «Метрострой»:**

– Проект создания на базе ЗАО «Метробетон» новой производственной линии вынашивался нами достаточно давно и вошел в общую программу модернизации производственных мощностей. Надо отметить, что все работы, связанные с реализацией данного проекта, выполнялись нами самостоятельно. Проект разрабатывался нашими проектировщиками, строительство велось с привлечением ЗАО

«СМУ-20 Метрострой», т. е. организации, входящей в структуру Метростроя, контроль за монтажом оборудования производился нашими специалистами. Немаловажную роль в появлении новой производственной линии сыграло наше плодотворное многолетнее сотрудничество с немецкими коллегами из фирмы Herrenknecht AG, которые по праву являются мировыми лидерами по изготовлению проходческого оборудования и снабжения процесса тоннелестроения необходимыми производствами и материалами.

Перспективы ближайших лет, судя по программе развития Петербургского метрополитена, принятой правительством нашего города в октябре 2013 г., говорят о том, что новые мощности Метростроя будут востребованы и позволят не просто реализовать городскую программу развития метро, но и выполнить это с принципиально иным уровнем качества. И пусть в мировой

практике тоннелестроения подобные технологии, производства и материалы применяются уже какое-то время и не являются инновацией, для Петербурга, для Северо-Запада России, да и для всей России наша новая линия производства железобетонных блоков обделки стала ощутимым технологическим прорывом, неким новым стандартом, который, мы надеемся, станет ориентиром для всех российских тоннельщиков.

**Лаптев Николай Александрович, начальник технологического отдела – главный технолог ОАО «Метрострой»:**

– На протяжении 2013 г. на площадке станции «Южная» («Шушары») проводились работы по сооружению стартового котлована и монтаж ТПМК. Строительство двухпутного тоннеля ведется по направлению в центр, по окончании проходки ТПМК будет разобран в демонтажной камере около станции «Перспект Славь» и выдан на поверхность для планового ремонта и последующей реализации будущих проектов. Силами Управления механизации выполнена сборка деталей проходческого щита (транспортного моста, режущего органа и юбки ТПМК). Собранные крупные узлы ТПМК опущены в стартовый котлован с помощью порталного крана Brunnhuber (оснащенного двумя каретками грузоподъемностью по 80 т каждая и вспомогательной кареткой в 32 т). Проведен монтаж и наладка всех коммуникационных систем щита.

Монтаж горизонтального ТПМК такого большого диамет-

ра проводится Метростроем впервые (для сравнения главный привод стандартного проходческого щита весит 52–54 т, вес S-782 составляет 132 т), поэтому на всех специалистах Метростроя, привлеченных к данному проекту, лежала большая ответственность. Так, сварку 150-тонного диска режущего органа осуществляли 18 лучших сварщиков Управления механизации. Варили днем и ночью при строго определенной температуре по специальной технологической карте (размеры многопроходных швов в разрезе 60×45 мм, на все сварочные работы ушло порядка 2 т электродов).

**Алмаев Станислав Игоревич, директор по производству ЗАО «Метробетон»:**

– Изготовление сегментов тоннельной обделки для двухпутного тоннеля осуществляется на новой карусельной линии производства Herrenknecht (Германия). Производительность линии составляет 10 колец в сутки или 300 колец в месяц. Кольцо диаметром 10,3 м и шириной 1,8 м состоит из семи сегментов, включая замковый элемент.

Армокаркасы производятся на комплексе арматурного оборудования итальянской компании AWM. Полный комплект арматурного оборудования AWM включает правильно-отрезной станок Duo Straight, сварочную линию Preflex для производства гнутых тяжелых сварных сеток, линию для сварки криволинейных каркасов TNL, автоматическую машину для изготовления замковых сварных сеток Easy Net и гильотину для рубки сетки.



**Мосметрострой**



Газета открытого акционерного общества «Московский Метрострой»  
**Метростроевец**

Издаётся с 6 августа 1932 года

### Уважаемые друзья!

Еще не поздно оформить подписку на первое полугодие 2014 г. на одну из старейших в России газет о метростроении «Метростроевец».

«Метростроевец» – газета «Московского Метростроя». Издаётся с 1932 г.

С июля 2013 г. издание выходит еженедельно, а значит более оперативно и широко освещает текущую деятельность Мосметростроя.

Еженедельно на четырех полосах – все о сооружении метрополитенов, транспортных тоннелей и развязок, технике и технологиях подземного строительства в России и за рубежом, об истории компании и метростроевцах.

Издание будет интересно специалистам, студентам профильных отделений вузов. Индекс газеты – 24264.

Стоимость подписки в месяц за 4 номера с доставкой на дом составит – 71 руб. 71 коп. (за полгода и 24 номера – 430 руб. 26 коп.), до квартиры – 76 руб. 24 коп. (457 руб. 44 коп.), до востребования – 70 руб. 57 коп. (423 руб. 42 коп.), льготный – для ветеранов и пенсионеров, оформляющих подписку самостоятельно – 69 руб. 36 коп. (416 руб. 16 коп.).

Подписывайтесь на газету «Метростроевец» и будьте в курсе всех событий, текущей деятельности и достижений крупнейшей в России группы компаний по строительству метро и тоннелей!



## ВАСИЛИЮ ГРИГОРЬЕВИЧУ КУЛИКОВУ ИСПОЛНИЛОСЬ 85 ЛЕТ

го транспорта им. А. А. Андреева более 60 лет Василий Григорьевич бесменно трудится в отделе электротехнических устройств, сначала в институте «Метрогипротранс», затем в ОАО «Трансинжстрой», пройдя путь от техника до начальника отдела.

В течение многолетней трудовой деятельности Василий Григорьевич выполняет широкий круг проектных работ: разработку нестандартных электроконструкций, осветительной арматуры, контактной сети, кабельных прокладок, силовой и осветительной сети и др. для постоянных устройств тоннелей и метрополитенов.

Мы очень ценим доброе, желательное отношение В. Г. Куликова к делам, стремление найти наиболее рациональное решение возникающих вопросов.

Проекты, выпускаемые В. Г. Куликовым, отличаются глубиной проработки, добротным качеством исполнения.

Обладая высокой инженерной эрудицией, огромной работоспособностью, Василий Григорьевич оказывает большую техническую помощь молодым специалистам в освоении проектирования.

Плодотворная трудовая деятельность Василия Григорьевича отмечена рядом государ-

ственных наград, в том числе орденом «Знак Почета», медалями «За трудовое отличие», «Ветеран труда», «В память 850-летия г. Москвы». Он награжден также знаком «Почетный строитель России».

Бюро комплексного проектирования ОАО «Трансинжстрой», Совет ветеранов ОАО «Трансинжстрой» и правление Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляют Василия Григорьевича с юбилеем и желают ему многие лета крепкого здоровья, неиссякаемой энергии и больших успехов в работе!



Вся деятельность В. Г. Куликова тесно связана с проектированием и строительством крупных подземных строек нашей страны – метрополитенов и тоннелей.

После окончания Московского техникума железнодорожно-



## 1 марта 2014 г. генеральному директору ПАО «Киевметрострой», президенту Украинской государственной корпорации по строительству метрополитенов и тоннелей «Укрметротоннельстрой» Владимиру Ивановичу Петренко исполняется 70 лет.

хранить кадровый потенциал предприятия, но и существенно ускорить темпы строительства. Практически каждый год в Киеве происходит пуск новых станций, а за последние 2010–2013 гг. было введено шесть станций Куреневско-Красноармейской линии.

За годы его руководства введено 27 станций Киевского метрополитена из 52-х действующих; электродепо «Харьковское»; в центре столицы осуществлена в крайне сжатые сроки реконструкция Майдана Незалежности (Площади Независимости) с сооружением памятника Независимости; строительство водоводов крупнейшей в Европе Днестровской ГАЭС, первый агрегат которой введен в действие в конце 2013г.; строительство коммунальных коллекторов в г. Киеве; активно осваивается подземное пространство столицы; участие в строительстве Днепропетровского и Московского метрополитенов.

В. И. Петренко внес весомый вклад в научное обоснование технологических параметров проходки горизонтальных и наклонных тоннелей различного назначения сплошным забоем, их крепления балочными конструкциями и железобетонной водонепроницаемой обделкой.

Принимал непосредственное участие в разработке нового унифицированного сборного крепления с резиновыми уплотнителями стыков, что дало воз-

можность отказаться от применения чугунных тубингов для обделок в водонасыщенных породах; технологии перемещения механизированного комплекса через станционный тоннель; успешно внедрил новые варианты проходки и крепления вертикальных стволов комбинированным способом.

Значительный творческий вклад внес В. И. Петренко в работу «Разработка, научное обоснование и внедрение новых технологий строительства и реконструкции больших подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях». Её результаты, опубликованные в научных статьях и представленные в докладах на многих конференциях, в т. ч. и на международных, были внедрены при строительстве крупных объектов (тоннелей метрополитена, гидроаккумулирующих электростанций, коммунальных тоннелей, подземных торговых комплексов и т. п.).

Новые технические решения защищены патентами и авторскими свидетельствами за изобретения в метростроительной отрасли.

На протяжении 1990–2005 гг. В. И. Петренко внедрил ряд новых технологий при строительстве метро, которые были теоретически обоснованы автором при защите в 2000 г. кандидатской диссертации.

В 2013 г. в составе группы авторов Владимир Иванович стал лау-

реатом Государственной премии в области науки и техники за работу «Разработка и внедрение новых ресурсосберегающих и техногенно-безопасных технологий строительства метрополитенов и тоннелей в Украине».

Вклад В. И. Петренко в развитие метростроительной отрасли получил достойное государственное и общественное признание. Ему присвоено высокое звание «Герой Украины», заслуженный строитель Украины, почетный транспортный строитель, почетный гражданин г. Киева. Он награжден орденом «Знак Почета», орденами «За заслуги» I, II и III степеней, Почетным знаком отличия Президента Украины. Владимир Иванович – академик Академии строительства Украины, лауреат премии Академии строительства Украины им. академика М. С. Будникова, член Транспортной академии Украины, дважды избирался депутатом Киевского городского совета народных депутатов.

Транспортные строители России и Украины, Тоннельная ассоциация России, редакция журнала «Метро и тоннели» поздравляют Владимира Ивановича с замечательным юбилеем и желают ему дальнейших успехов в строительстве, достижении новых профессиональных высот, крепкого здоровья и личного счастья!



# ОПЫТ ПРОХОДКИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТОННЕЛЕМ НА ТРАССЕ ДУБЛЕРА КУРОРТНОГО ПРОСПЕКТА В Г. СОЧИ

Ю. С. Фролов, Н. А. Коньков, Б. Д. Пеньков, Д. А. Соловьев, Петербургский государственный институт путей сообщения  
Ю. А. Мордвинков, В. В. Данилов, ОАО «Тоннельдорстрой»

**Р**ельефные и градостроительные особенности города Сочи, расчлененность территории реками, каньонами, железнодорожной линией затрудняют оптимальную организацию движения автотранспортных потоков. Резкий рост уровня автомобилизации привел к исчерпанию пропускной способности городских магистралей, что вызывает заторы на дорогах и в целом значительно ухудшает условия движения транспорта.

В такой ситуации руководству региона необходимо было сосредоточить усилия на комплексном решении транспортной проблемы. При этом первоочередной мерой явилось приоритетное развитие двух магистральных направлений: обхода города Сочи и дублера Курортного проспекта (центральной магистрали города, исчерпавшей пропускную способность).

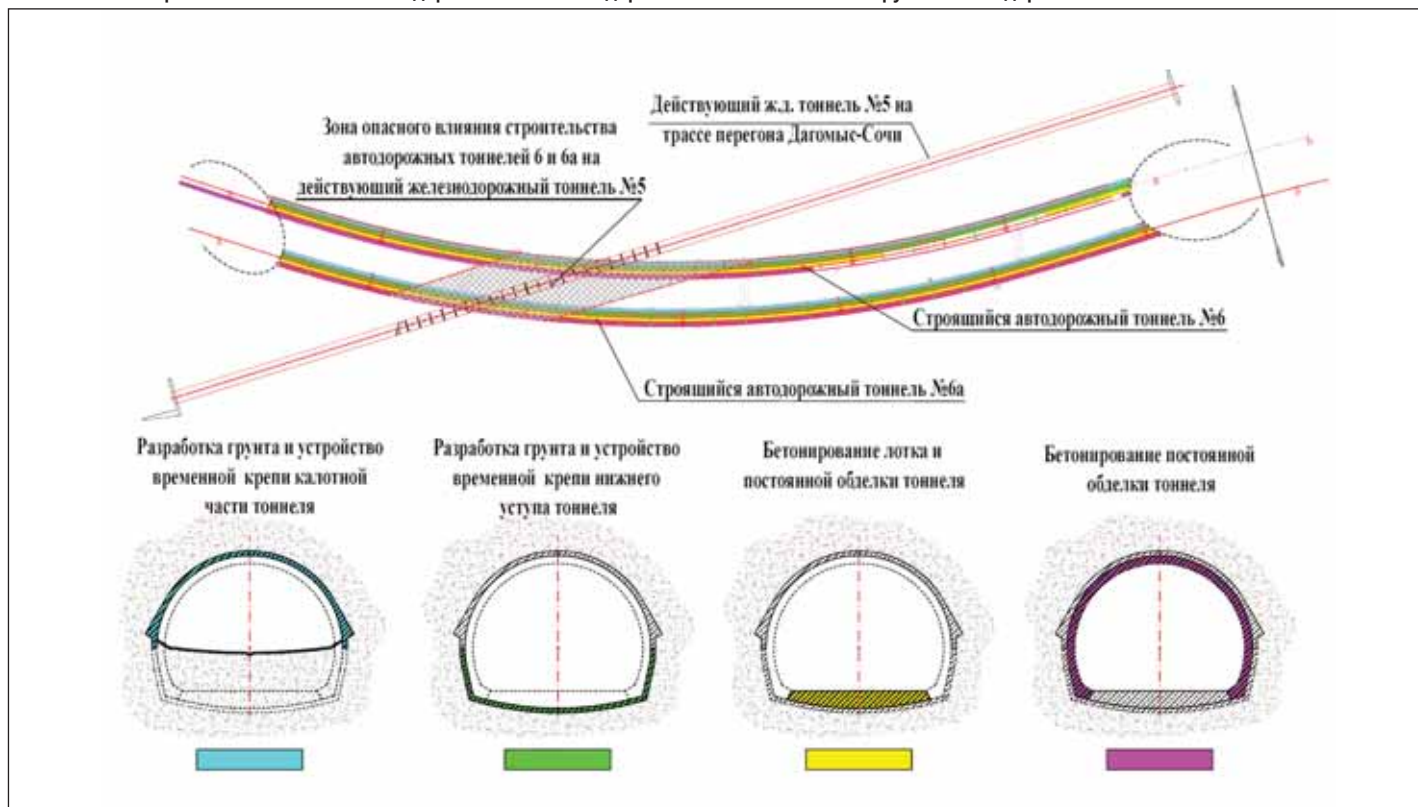
Значительная часть запроектированной трассы-дублера длиной 17 км проходит в тоннелях. Они пересекают не только водо-

разделы, косогоры и плотнозастроенные городские кварталы. Трасса тоннелей № 6 и ба пересекает под острым углом действующий железнодорожный тоннель № 5 на проходящей через центральные районы города железнодорожной магистрали Туапсе – Адлер. Тоннельное пересечение на автомагистрали включает два параллельных тоннеля (длиной 564,12 и 557,8 м), по каждому предусматривается пропуск 2-полосного движения автотранспорта в одном направлении (рис. 1). Расстояние между осями тоннелей – 30 м. Габариты приближения строений и оборудования тоннелей приняты для дороги I категории с двумя полосами движения в соответствии с ГОСТ 24451-80 «Тоннели автомобильные. Габариты приближения строений и оборудования». Ширина проезжей части в тоннеле 8,5 м: две полосы движения шириной 3,75 м каждая и две полосы безопасности по 0,5 м. С обеих сторон проезжей части предусмотрены служебные проходы шириной по

0,75 м. Постоянная обделка подковообразной формы выполнена из монолитного железобетона с внешним радиусом 5900 мм и внутренним 5400 мм. Толщина обделки в своде составляет 500 мм, а в обратном своде – 1000 мм. С каждой стороны тоннеля в шахматном порядке на расстоянии 190 м располагаются камеры. Для эвакуации людей из тоннелей при пожаре предусматриваются три эвакуационные сбойки.

Инженерно-геологические условия в зоне пересечения в соответствии с СНиП 22-01-95 классифицируются как сложные. Все три тоннеля на проблемном участке расположены в толще аргиллитов низкой и пониженной прочности, с включением линз и прослоев песчаника. Предел прочности на сжатие аргиллитов в воздушно сухом состоянии составляет в среднем 15 МПа, а модуль деформации 1300–2300 МПа. В обводненном массиве прочностные показатели этих грунтов резко снижаются до 1,5 МПа, а модуль деформации до 500 МПа, при этом сцепле-

Рис. 1. Взаимное расположение в плане автодорожных и железнодорожного тоннеля. Этапы сооружения автодорожного тоннеля



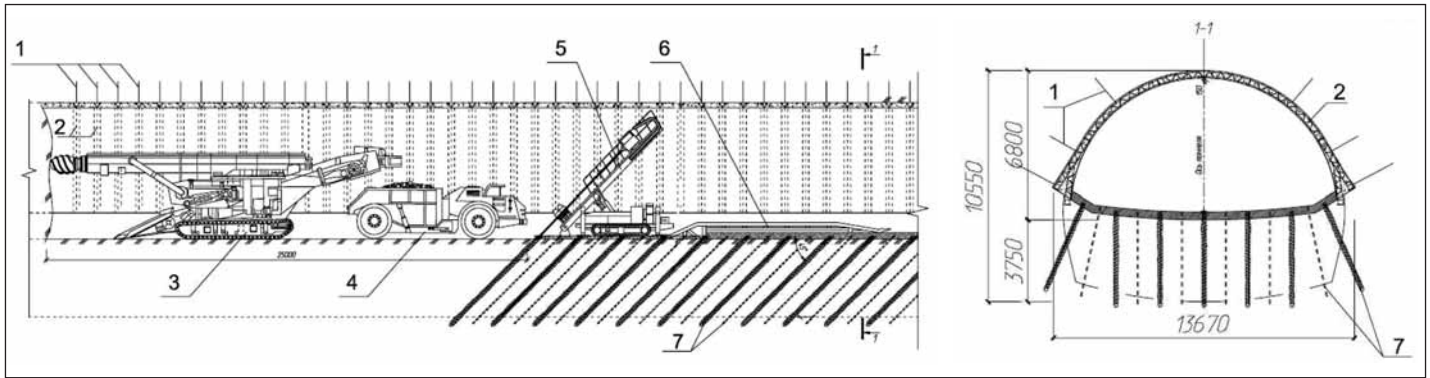


Рис. 2. Технологическая схема проходки калотты автодорожного тоннеля: 1 – анкерная крепь кровли; 2 – арматурные арки, омоноличенные набрызг-бетоном; 3 – проходческий комбайн; 4 – автосамосвал МоА3; 5 – буровая установка; 6 – передвижной мост; 7 – железобетонные анкеры

ние между слоями аргиллита снижается до 0,1–0,15 МПа.

Тектонические дислокации массива увеличивают его трещиноватость, что приводит к возрастанию их водопроницаемости и снижению прочности в процессе проходки. Все это провоцирует возникновение ряда негативных геомеханических процессов, таких как нарастание горного давления, потеря устойчивости выработки с образованием значительных по объему вывалов грунта. Принимая к сведению все эти факторы, учитывая также, что действующий железнодорожный тоннель попадает в зону влияния автодорожных тоннелей, Управлением пути и сооружений Центральной дирекции-филиала ОАО «РЖД» были установлены жесткие требования к минимизации степени влияния строящихся тоннелей на эксплуатационные качества железнодорожного тоннеля. Эти требования обусловлены тем, что тоннель, построенный в 1914 г., находится на единственной железнодорожной линии, проходящей вдоль побережья Черного моря за пределы РФ. По этой дороге осуществляются все пассажирские и грузовые перевозки, в том числе доставка материалов и техники при строительстве олимпийских объектов.

По предварительным расчетам, выполненным в НИЦ «Тоннели и метрополитены» ЦНИИСа, границы зоны влияния проходки автодорожных тоннелей № 6 и 6а на напря-

женно-деформированное состояние (НДС) обделки железнодорожного тоннеля распространяются на участке длиной до 200 м.

Для обеспечения эксплуатационной надежности железнодорожного тоннеля в процессе проходки автодорожных тоннелей проектировщиком и подрядчиком были определены два пути решения проблемы:

- пройти автодорожные тоннели уступным способом с устройством бетонного обратного свода при разработке калотты и закреплением его железобетонными анкерами на всю высоту уступа (рис. 2), разработать нижний уступ по частям (средняя штросса – боковые штроссы) с устройством экрана из труб длиной 15 м в подошве выработки, установленных в скважинах, пробуренных под углом 50 (рис. 3);

- по результатам расчетно-теоретических исследований установить пороговые значения прочностных и деформационных параметров конструкции, определить НДС обделки тоннеля в условиях её работы близких к реальным, и осуществлять мониторинг НДС обделки железнодорожного тоннеля в процессе проходки над ним автодорожных тоннелей.

С целью уточнения конструкции обделки железнодорожного тоннеля и для оценки технического состояния обследуемого участка, первоначально сотрудниками кафедры тоннели и метрополитены был проведен комплекс работ, включающий

анализ результатов предыдущих обследований; визуальное обследование обделки с составлением дефектных карт; определение прочностных характеристик материалов обделки; георадарные исследования стен тоннеля и прилегающего к тоннелю грунтового массива.

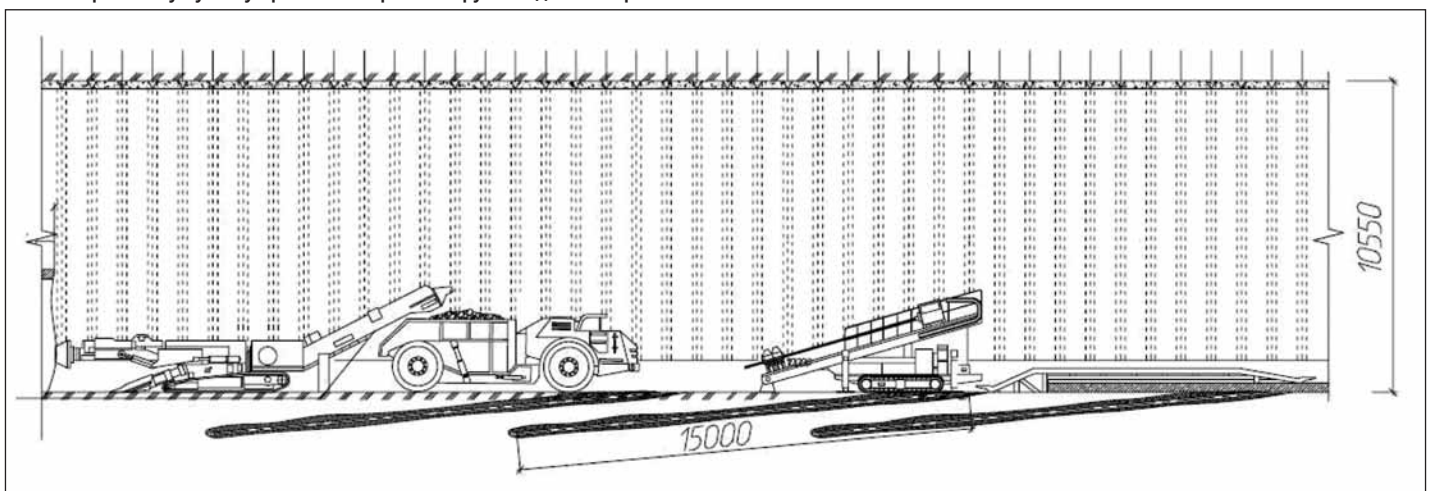
На основании проведенного обследования было установлено следующее.

1. Обделка тоннеля выполнена в виде трехрядной кладки из бетонных блоков толщиной 270–300 мм на цементно-песчаном растворе. Общая толщина обделки – 850–900 мм. За обделкой тоннеля присутствуют элементы деревянной временной крепи и каменная забутовка, выполняющая функции дренажа. Прочность на сжатие бетона блочной обделки составляет 35–50 МПа, прочность раствора – 15–20 МПа.

2. Дефекты тоннельной обделки представлены вертикальными трещинами в стенах секций раскрытием до 0,4 мм, отдельными вертикальными трещинами по деформационным швам между секциями раскрытием до 1 мм, трещинами в монолитном бетоне ниш и камер. Общее количество дефектов незначительно. Течей и зон увлажнений на обследуемом участке не обнаружено.

3. По результатам обследования технического состояния обделки железнодорожного тоннеля после почти векового периода эксплуатации следует классифицировать как работоспособное (по СП13-102-2003).

Рис. 3. Разработка уступа с устройством экрана из труб в подошве выработки



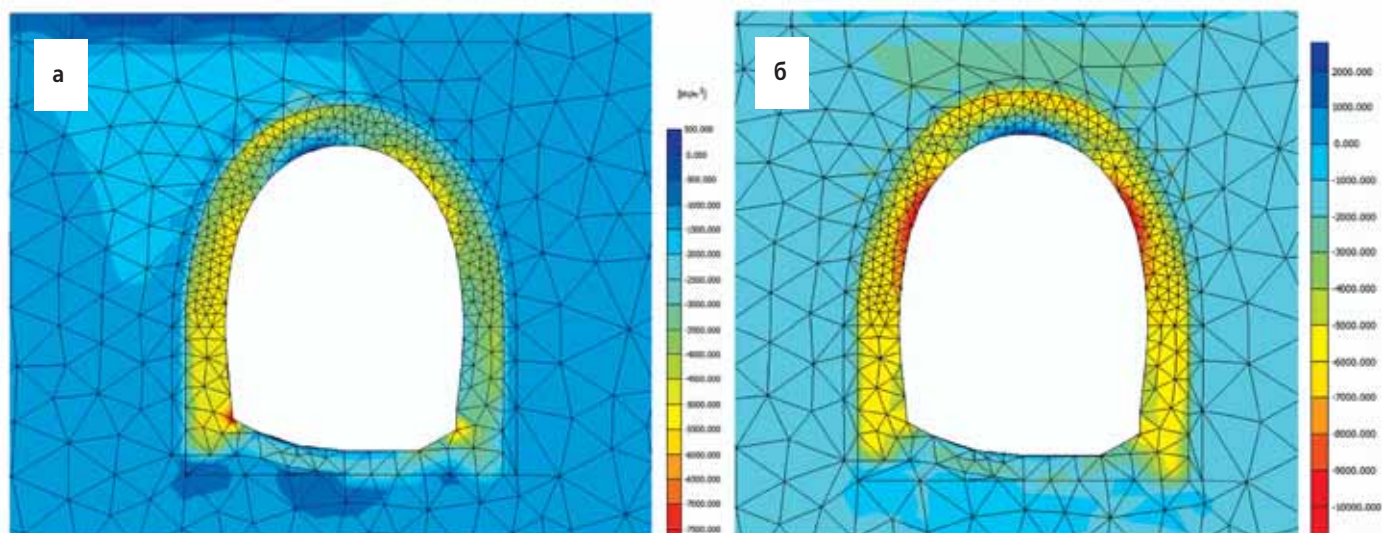


Рис. 4. Фрагменты картин распределения главных напряжений ( $\text{kH}/\text{m}^2$ ) в обделке тоннеля при заданных максимальных деформациях: а – кососимметричное нагружение; б – симметричное нагружение

Таблица 1

Результаты расчета напряженного состояния обделки тоннеля на заданные деформации

Вид деформирования	Шаг нагружения	Максимальные перемещения, мм				Максимальные напряжения (сжимающие/растягивающие), МПа			
		Свод	Левая стена	Правая стена	Обратный свод	Свод	Левая стена	Правая стена	Обратный свод
При кососимметричном нагружении	1	3,9	1,9	2,2	0,6	-6,3	-6,5	-3,6	-3,3
	2	<b>18,6</b>	9,4	9,5	1,1	<b>-8,5/1,2</b>	-7,8	-5,9	-3,4
При симметричном нагружении	1	4,9	2,6	2,6	0,6	-6,2	-5,1	-5,5	-3,3
	2	<b>22,1</b>	11,5	11,6	0,2	<b>-8,1/1,6</b>	<b>-12,2</b>	-10,9	-3,1

Таблица 2

Номер расчетной схемы	Напряжения в сечениях обделки (наружный контур/внутренний контур), МПа					
	Сечения					
	1	2	3	4	5	
а	$\frac{-4,64}{-2,20}$	$\frac{-2,95}{-3,45}$	$\frac{-2,23}{-3,72}$	$\frac{-2,98}{-3,48}$	$\frac{-4,64}{-2,22}$	
б	$\frac{-4,33}{-2,03}$	$\frac{-2,34}{-3,70}$	$\frac{-2,22}{-3,28}$	$\frac{-2,66}{-2,34}$	$\frac{-4,46}{-2,09}$	
в	$\frac{-4,38}{-1,01}$	$\frac{-1,09}{-2,11}$	$\frac{-1,35}{-5,01}$	$\frac{-1,08}{-2,11}$	$\frac{-4,38}{-1,10}$	
г	$\frac{-4,43}{-1,42}$	$\frac{-1,53}{-2,25}$	$\frac{-1,44}{-5,01}$	$\frac{-1,50}{-2,25}$	$\frac{-4,43}{-1,40}$	

Предельные значения напряжений и деформаций в обделке железнодорожного тоннеля, при которых технический уровень конструкции снизится до ограниченно работоспособного, определили по результатам анализа статической работы конструкции на заданные нагрузки. Анализ проводился методом конечных элементов с применением

программного комплекса «Plaxis». Для моделирования обделки использовались объемные линейно-эластичные элементы, для вмещающего грунтового массива – объемные элементы по модели пластического деформирования Мора-Кулона. Все элементы, моделирующие конструкцию обделки и грунтовой массив, – весомые.

Физико-механические характеристики грунтового массива и материалов обделки в расчетной модели были приняты близкими к реальным, полученным по данным инженерно-геологических изысканий и по результатам обследования.

Значения допустимых деформаций обделки установили по величинам, при достижении которых в обделке возникали растягивающие напряжения, а сжимающие приближались к пределу прочности на сжатие цементно-песчаного раствора кладки. Численный анализ НДС обделки, проведенный на симметричные и кососимметричные нагрузки, показал, что максимальные значения деформаций, при которых в своде обделки возникнут напряжения близкие к предельно допустимым, должны находиться в пределах 20 мм. При превышении этой величины в своде возникнут растягивающие напряжения, а сжимающие напряжения в стенах приблизятся к пределу прочности на сжатие раствора кладки (рис. 4). Результаты расчета напряженного состояния обделки тоннеля на заданные деформации представлены в табл. 1.

На следующем этапе моделирования был выполнен численный анализ степени влияния проходки автодорожного тоннеля на



НДС обделки железнодорожного тоннеля. С этой целью сопоставлены результаты моделирования НДС обделки железнодорожного тоннеля по четырем вариантам расчетных схем, в зависимости от местоположения забоев тоннелей № 6 и 6а (рис. 5): а – до проходки автодорожного тоннеля; б – при расстоянии от забоя автодорожного тоннеля до пересечения с железнодорожным 10 м; в – забой автодорожного тоннеля и сечение железнодорожного находятся в одной плоскости; г – по варианту (в) с нагрузкой от проходческого комбайна ( $3 \text{ т/м}^2$ ).

Результаты численного анализа (табл. 2) позволили сделать вывод о том, что проходка автодорожных тоннелей не окажет существенного влияния на НДС обделки железнодорожного тоннеля. Установлено, что на всех этапах строительства материал блочной обделки испытывает только сжимающие напряжения. Влияние проходки наиболее заметно сказывается, когда забой автодорожного тоннеля и сечение железнодорожного находятся в одной плоскости. Сжимающие напряжения на внутреннем контуре в своде обделки возрастают до 5 МПа. Нагрузка от проходческого комбайна ( $3 \text{ т/м}^2$ ) практически не сказывается на НДС обделки, незначительно увеличивая сжимающие напряжения по внешнему контуру в четвертях свода.

Максимальное значение деформации зафиксировано в шельге свода и составляет всего 6 мм, что не превышает ранее установленного предельно допустимого значения, равного 25 мм. При этом максимальное сжимающее напряжение 5 МПа не превышает предела прочности раствора кладки на сжатие.

С целью постоянного контроля степени влияния строительства на техническое состояние железнодорожного тоннеля по заданию Управления пути и сооружений Центральной дирекции-филиала ОАО «РЖД» сотрудниками кафедры тоннели и метрополитены ПГУПС совместно со специалистами ООО «Тоннельдорстрой» была подготовлена программа работ по постоянному мониторингу в процессе проходки автодорожных тоннелей. Задача мониторинга – оперативная и регулярная передача информации заказчику, проектировщику и подрядчику о возможных изменениях напряженно-деформированного состояния обделки железнодорожного тоннеля. Для выполнения решений была разработана и утверждена программа автоматизированного геодезического деформационного мониторинга, которая предусматривала следующие этапы: подготовительный период; постоянный мониторинг НДС обделки железнодорожного тоннеля; анализ технического состояния тоннельной обделки в зависимости от продвижения забоев автодорожных тоннелей.

В подготовительный период на трещины обделки устанавливались деформационные «маяки», прокладывались теодолитные

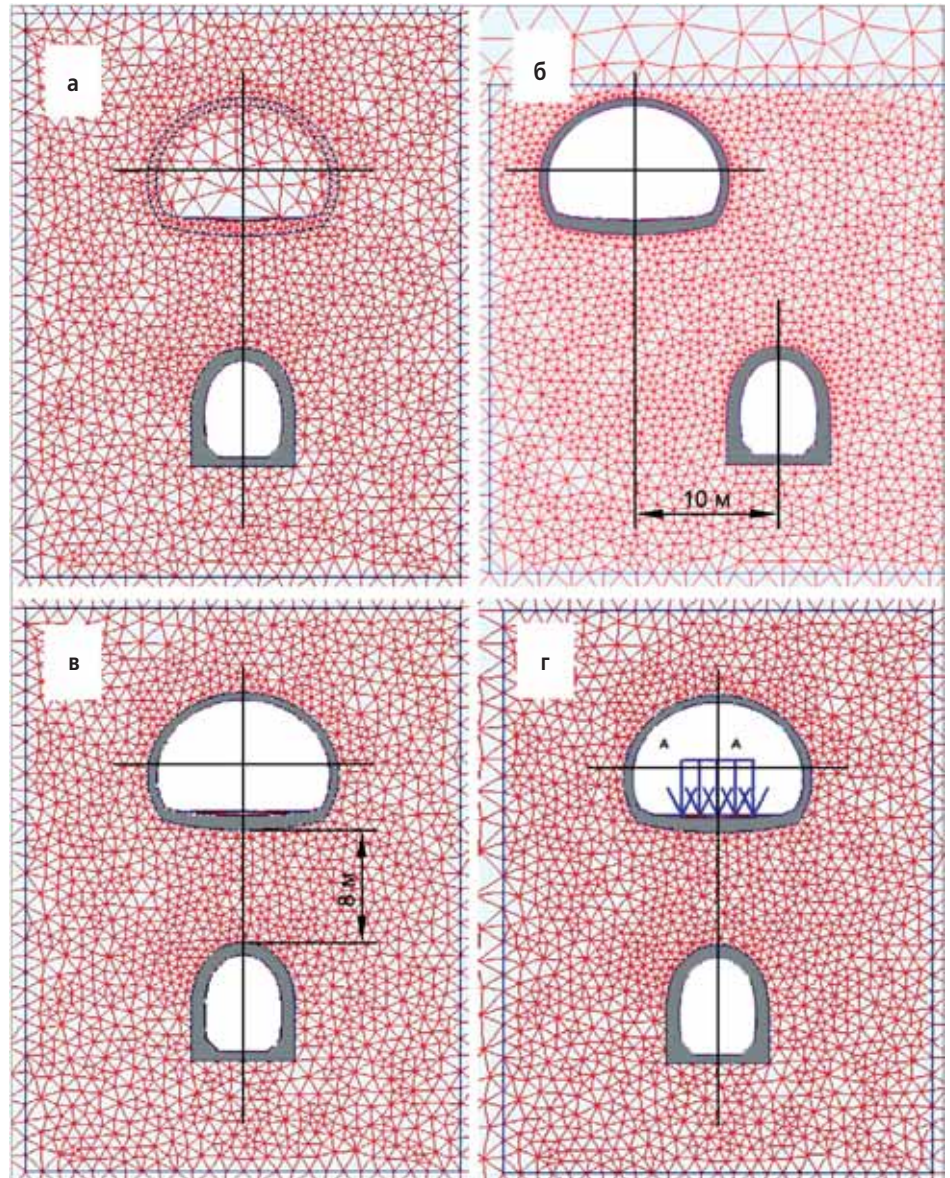


Рис. 5. Расчетные схемы численного анализа степени влияния проходки автодорожного тоннеля на НДС обделки железнодорожного тоннеля

и нивелировочные ходы, закладывались базовые реперные знаки геодезической основы, устанавливались роботизированные тахеометры, крепились к обделке деформационные марки и датчики перемещений, снимались первичные отчеты измерительной системы.

Для наблюдений за проявлением возможных деформаций обделки тоннеля использовали два роботизированных тахеометра (Leica TM 30), позволяющие реализовать векторный метод определения планово-высотных смещений деформационных марок, закрепленных на обделке тоннеля (измерения фиксируются в электронных регистраторах приборов). Роботизированные тахеометры установили в людских нишах, расположенных друг против друга в середине тоннеля. Для каждого тахеометра на северном и южном порталах вне зоны возможных деформаций установили по два опорных репера, по которым роботизированные тахеометры автоматически корректировали свое положение. По среднему се-

чению каждого кольца обделки и с двух сторон деформационного шва на всей длине обследуемого участка были размещены деформационные марки общим количеством 200 штук (рис. 6 и 7).

Тахеометры в автоматическом режиме снимали отсчеты 4 раза в сутки. В зависимости от графика движения поездов время отсчета корректировалось на 10–15 минут. Кроме того, в деформационных швах и на трещинах в обделке тоннеля закрепили 16 датчиков перемещений электронной системы «Терем 4.1».

Организация работ предусматривала размещение наблюдательной станции на южном портале железнодорожного тоннеля, куда с установленного в тоннеле специализированного оборудования информация поступала по оптико-волоконному кабелю. Проверенные данные в режиме «on line» отправляли в лабораторию моделирования тоннелей Петербургского государственного университета путей сообщения для статистической обработки и анализа ситуа-

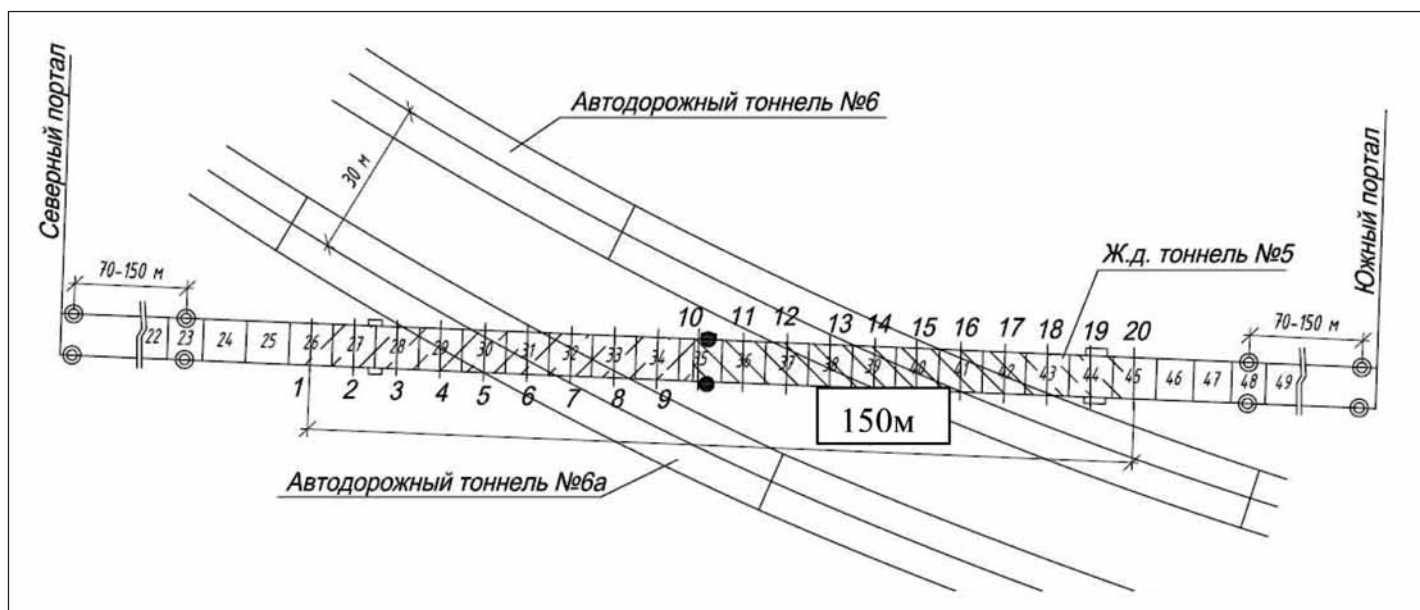


Рис. 6. Схема расположения приборов геодезического мониторинга (цифрами с 1 по 20 показаны сечения, где установлены деформационные маяки): ● – роботизированные тахеометры; ⊙ – знаки опорного плано-высотного геодезического обоснования

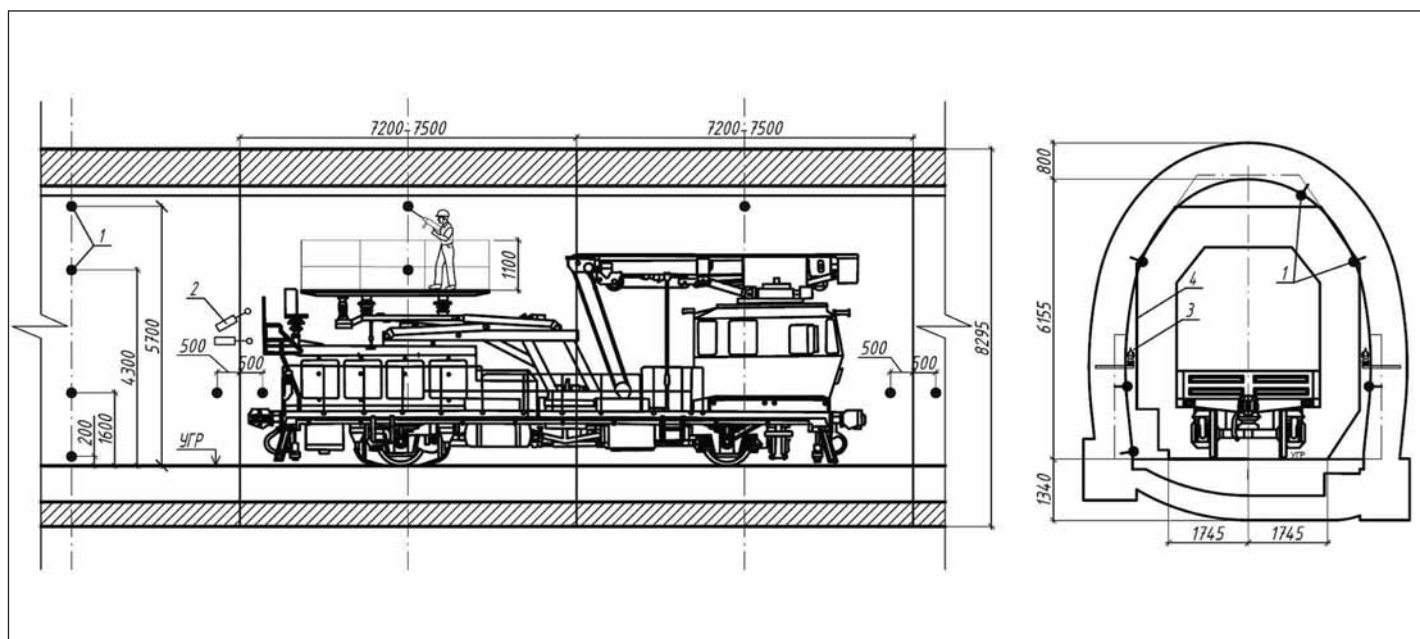


Рис. 7. Схема установки измерительных приборов в железнодорожном тоннеле: 1 – деформационные марки; 2 – датчики перемещений; 3 – роботизированный тахеометр; 4 – габарит

ции. При анализе технического состояния тоннеля, полученные данные по смещению деформационных марок сравнивались с допустимыми деформациями обделки. Сравнению подлежали усредненные суточные показания.

Полученные результаты в срок до 10:00 следующих суток передавались подрядчику и в Управление пути и сооружений Центральной дирекции-филиала ОАО «РЖД». Предполагалось, что в случае превышения предельно допустимых значений деформаций работы останавливаются, разрабатываются дополнительные мероприятия по технологии проходки автодорожных тоннелей или усилению обделки железнодорожного тоннеля.

Программа мониторинга включала также нивелировку рельсов ВСП и визуаль-

ное обследование обделки тоннеля (1 раз в неделю).

Постоянный мониторинг проводился в зоне влияния нового строительства на обделку железнодорожного тоннеля в течение всего срока проходческих работ и еще шесть месяцев после возведения постоянной обделки автодорожных тоннелей на этом участке. За период с января 2012 г. (начало мониторинга) по сентябрь 2013 г. максимальные смещения деформационных марок не превысили 8 мм. При этом 98 % показаний плано-высотных смещений деформационных марок находились в пределах доверительного интервала (3–4 мм). Наиболее вероятная причина – загрязнение поверхности отражателей. Датчики перемещений, расположенные на деформационных швах, зафиксировали закрытие швов до 0,6 мм. Дат-

чики, расположенные на трещинах обделки, также показали тенденцию к закрытию, однако значения величин находились в пределах точности измерений. Результаты мониторинга свидетельствуют о том, что в процессе производства строительных работ над железнодорожным тоннелем его обделка постоянно находилась в условиях всестороннего сжатия. При этом максимальные смещения обделки составили 30 % от предельно допустимых, определенных в результате численного анализа.

Таким образом, принятые конструктивно-технологические решения, реализованные при сооружении автотранспортных тоннелей, обеспечили как безопасность производства строительных работ, так и эксплуатационную надежность действующего железнодорожного тоннеля.

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

**А. Е. Сквернюк**, инженер II категории отдела проектирования организации и механизации строительства, ОАО «Минскметропроект»

**Н**еобходимость подземного строительства в крупных городах предопределена исторически. Сложившаяся градостроительная ситуация обусловлена отсутствием пространственно организованной системы взаимосвязей всех жизнеобеспечивающих элементов подземного и наземного уровней города.

Освоение подземного пространства крупных городов путем строительства транспортных тоннелей, линий метрополитенов и других подземных сооружений повышает качество жизни людей, а также эффективность использования дорогостоящих городских земель при сохранении сложившегося облика города. Оно является также наиболее эффективным средством борьбы с пробками из-за резко возросшего автомобильного движения.

Строительство метрополитена всегда было связано с нарушением привычной жизни города. При проходке перегонных тоннелей немеханизированным щитом эти нарушения очень существенны: снос существующей жилой застройки с трассы метрополитена, переселение людей, перенос существующих коммуникаций, закрытие городских улиц, соответственно строительство дублирующих улиц, устройство объездов строительных площадок открытого способа работ. Все это связано с увеличением сроков строительства и увеличением капитальных вложений.

Быстрый рост в последнее время города Минска как крупнейшего административного, социально-экономического, финансового и культурного центра Беларуси обусловил необходимость разработки новых схем развития городского транспорта. Наивысшая концентрация транспортных потоков наблюдается по двум радиальным направлениям. Первое из них, в направлении Юго-запад – Восток, по проспекту Дзержинского с выходом на проспект Независимости и далее на Московское шоссе; второе, в направлении Запад – Юго-восток в юго-восточную промышленную зону. Соответственно основным транспортным потокам выбраны направления первой и второй линий метрополитена.

Третий участок первой линии Минского метрополитена от станции «Институт Культуры» до станции «Петровщина» связывает крупнейший юго-западный сектор города с его центром. При этом с учетом пересадки на вторую линию метро (станция «Октябрьская» – станция «Купаловская») обеспечивается скоростная транспортная связь юго-за-

падных жилых районов с юго-восточной промзоной.

Проспект Дзержинского, вдоль которого проходит трасса рассматриваемого участка метрополитена, является крупнейшей градобразующей транспортной магистралью города. К проспекту примыкают жилые и промышленные территории Московского района Минска.

Условия строительства метрополитена, определяющие продолжительность и стоимость подготовительного периода, характеризуются следующими факторами:

- проходка под застроенной территорией в квартале пр. Дзержинского, ул. Щорса, ул. Железнодорожная, необходимость отселения и сноса зданий и сооружений, попадающих в техническую зону метрополитена;
- значительный снос зданий и сооружений под объезды и трассы переустраиваемых инженерных сетей;
- необходимость выполнения значительного объема работ по подготовке территории и перекладке коммуникаций, предусматривающего строительство дублеров пр. Дзержинского (пр. Извежия, ул. Любимова) и сооружение крупных объездов вдоль станции «Михалово»;
- большая напряженность транспортных потоков по пр. Дзержинского.

Специалистами ОАО «Минскметропроект» на примере ст. «Михалово» были разработаны технические решения, которые в какой-то мере позволяют снизить влияние данных факторов.

Проектом разработано два варианта строительства. Первый вариант предусматривает использование традиционных для Минска технологий и имеющихся в наличии Минскметростроя горнопроходческой техники и механизмов. Второй вариант предполагает применение передовых технологий и современной горнопроходческой техники и строительных механизмов.

Трасса линии по первому варианту проложена с учетом возможности строительства традиционными методами. Профиль линии максимально приближен к дневной поверхности для уменьшения затрат на строительное водопонижение. В плане положение трассы выбрано из условия максимального сокращения работ по перекладке инженерных сетей.

Строительство станций предусмотрено осуществлять в открытых котлованах со свайным креплением. Проходку тоннелей

планируется вести немеханизированными щитами ЩН-1с.

В связи с неблагоприятными геологическими условиями строительство части перегонных тоннелей осуществляется открытым способом со строительным водопонижением.

В связи со строительством 60 % линии открытым способом, проспект Дзержинского закрывается для движения городского транспорта на 4 года и 3 месяца. В качестве объездов используются улицы-дублеры.

Продолжительность строительства по первому варианту составляет 5 лет и 9 месяцев.

На проектируемом участке продления первой линии проработан вариант трассы протяженностью 2,8 км от ПК 347+84,00 (граница станции «Петровщина») до ПК 375+95,00 (граница станции «Грушевка»). Отличие варианта от основной трассы заключается в том, что для проходки перегонов со сложными инженерно-геологическими условиями предполагается применение современного тоннелепроходческого комплекса. В связи с этим на перегонах ст. «Петровщина» – ст. «Михалово» и ст. «Михалово» – ст. «Грушевка» изменен профиль трассы. Изменение профиля (более глубокая проходка тоннелей) позволяет сохранить крупные коммуникации, пересекающие проспект Дзержинского, и свести к минимуму нарушение движения наземного транспорта на период строительства.

Тоннели перегонов от ст. «Петровщина» до ст. «Михалово» и ст. «Михалово» до ст. «Грушевка» сооружаются закрытым способом. Расположенная за станцией «Петровщина» кривая радиусом 2500 м позволяет перейти от междупутья 12,9 к междупутью 17,1, которое необходимо для сооружения станции «Михалово».

Станция «Михалово» расположена на пересечении улиц Гурского и Уманской с проспектом Дзержинского с одним вестибюлем. За счет увеличения междупутья станции «Михалово» до 17,1 м длина всего станционного комплекса составила 130 м, что уменьшает количество и длину объездов на период строительства, а также сокращает сроки закрытия проспекта для движения транспорта. Сооружение станции «Михалово» осуществляется частично открытым и частично закрытым способом.

Проектируемый участок линии с тремя станциями и тремя перегонами имеет строительную длину 5,17 км в однопутном исчислении.

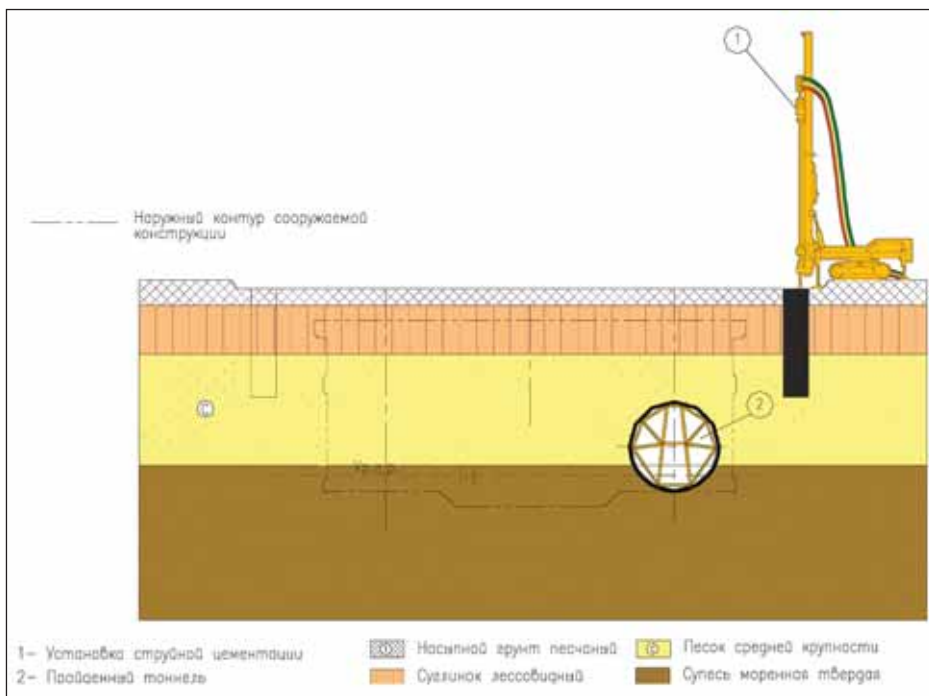


Рис. 1. Устройство крепления котлована грунтоцементными сваями

Конструктивное решение тоннелей и притоннельных сооружений принято из условия применения на участке от станции «Петровщина» до станции «Грушевка» проходческого щита типа Lovat.

Сооружение тоннелей выполняется одним щитом с непрерывной проходкой в местах расположения станции «Михалово» и притоннельных сооружений.

Расположение тоннелей в профиле выполнено исходя из следующего:

- обеспечение требуемых уклонов для эксплуатации;
- сокращение объема перекладок инженерных коммуникаций и устройства объездов;
- обеспечение минимальной глубины котлованов на участках открытого способа работ.

Обделка тоннелей принята из универсальных конических железобетонных колец  $D_{\text{н}}/D_{\text{вн}} = 5600/5100$ , обеспечивающих

точное ведение щита на участках кривых в плане и профиле. Обделка принята из высокоточных блоков высокой прочности, водонепроницаемости и морозостойкости с плоскими стыками и наклонными болтовыми креплениями. Для обеспечения водонепроницаемости стыки болтов снабжены резиновыми уплотнительными прокладками.

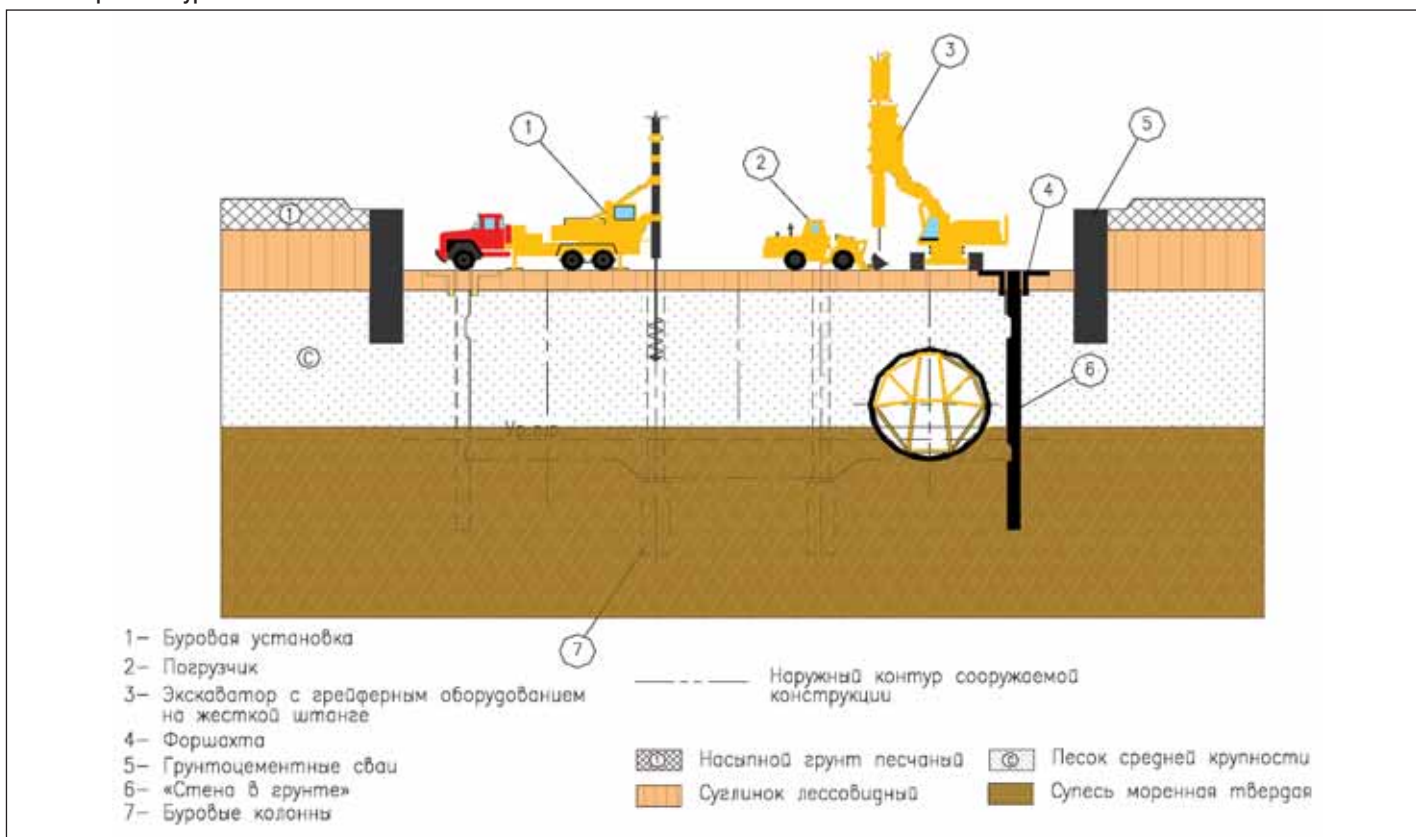
Станция «Михалово» разработана в единых конструкциях для всех сооружений станционного комплекса. Станция решена трехпролетной двухэтажной с кабельно-вентиляционным каналом под платформой. Шаг колонн принят 6 м, размеры в плане – 126,0×24 м. Принципиальное конструктивное решение станции разработано исходя из следующих положений:

- использование в качестве несущих конструкций стен, выполняемых способом «стена в грунте», обеспечивающих на стадии строительства крепление котлована;
- габариты станции приняты исходя из необходимости пропуска щитового комплекса в пределах сооружаемых стен;
- необходимость сооружения верхнего этажа с его последующей обратной засыпкой и восстановлением проезжей части для движения наземного транспорта.

Бетон конструкций обделок станционных комплексов принят класса W8 по водонепроницаемости.

Проектом предусмотрена замкнутая по контуру конструкция гидроизоляции с применением современных, долговечных, не подверженных гниению геосинтетических материалов, обладающая высокими

Рис. 2. Устройство буровых колонн



показателями надежности, как за счет самих гидроизолирующих материалов, так и благодаря специальной конструкции основных узлов.

### Сооружение ст. «Михалово» (вариант)

Второй вариант строительства предусматривает сооружение ст. «Михалово» в два этапа.

На первом этапе по торцам станции с отметки планировки под подкрановый путь сооружаются грунтоцементные сваи по технологии «jet-grouting» (рис. 1).

Разработка грунта ведется в два этапа:

- до уровня верха «стены в грунте». Сооружаются «стены в грунте» и высокоточные буровые колонны станции (рис. 2);
- до уровня низа перекрытия.

По уплотненному основанию разобранного котлована устраивается бетонная стяжка и бетонируется перекрытие и покрытие станции (рис. 3). Бетонирование перекрытия ведется по грунту, покрытия – в инвентарной опалубке. Далее производятся работы по сооружению соединительного ходка СТП, конструкций вентканала в пределах стройплощадки I этапа строительства, пешеходного перехода, лестничных сходов входов 3, 4 и части сходов входов 1, 2 и обратная засыпка сооруженных конструкций. Продолжительность строительства I этапа – 1 год. По завершению I этапа восстанавливается движение автотранспорта на перекрестке пр. Дзержинского – ул. Уманская – ул. Гурского.

На втором этапе строительства разрабатывается грунт в котловане СТП с ограждением из металлических свай и через соединительный ходок под сооруженным перекрытием с одновременной разборкой конструкций тоннельной обделки левого перегонного тоннеля. Разработанный грунт вывозится на спецтележках, погружается в вагонетки и выкатывается в котлован СТП с выдачей на поверхность. По оси правого пути бетонируется бетонное ложе для протаскивания шита типа Lovat и последующего его ввода в тоннель. Сооружаются конструкции вентканала, венткюска, СТП, лестничных сходов входов 1, 2 и их обратная засыпка.

### Сооружение ВСБ (вариант)

1. Проходка тоннелей механизированным тоннелепроходческим комплексом типа Lovat.

2. Сооружение с уровня существующей поверхности грунтоцементных свай по технологии «jet-grouting» по торцам ВСБ.

3. Устройство буронабивных свай и грунтоцементных свай.

4. Разработка котлована до уровня низа покрытия с креплением котлована анкерами (рис. 4).

5. Устройство высокоточных буровых колонн (рис. 5).

6. Бетонирование покрытия ВСБ по грунту (рис. 6).

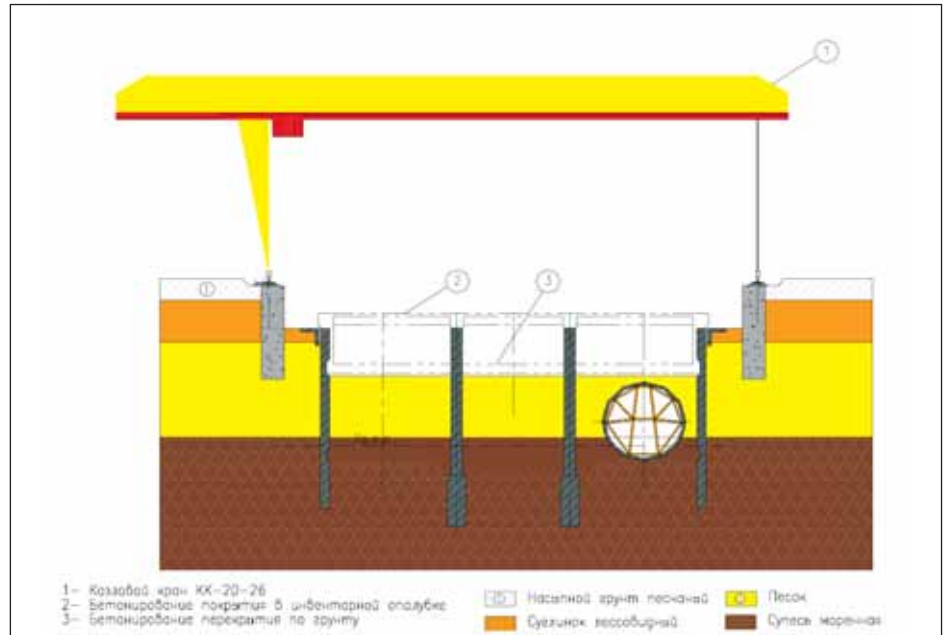


Рис. 3. Сооружение станции в уровне кассового зала

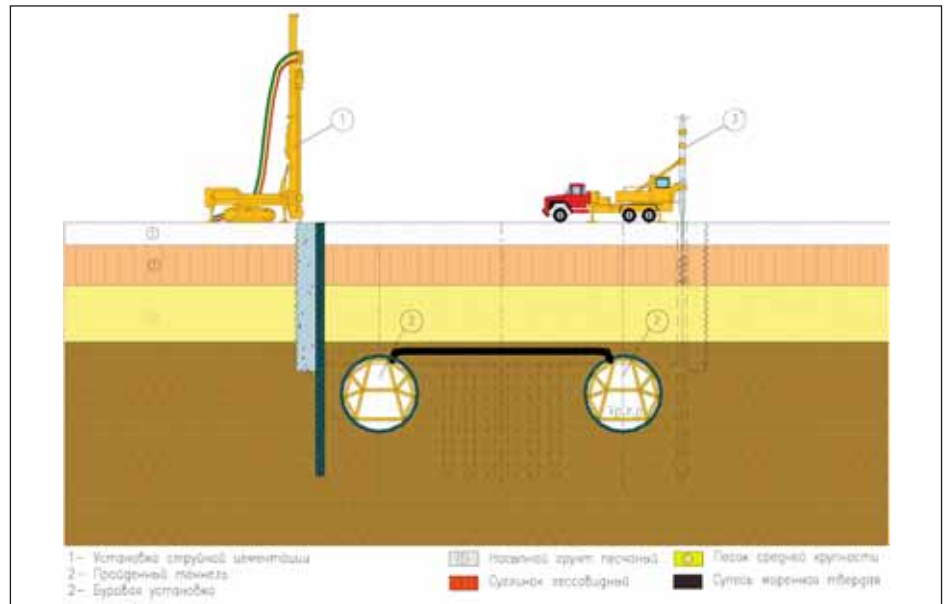
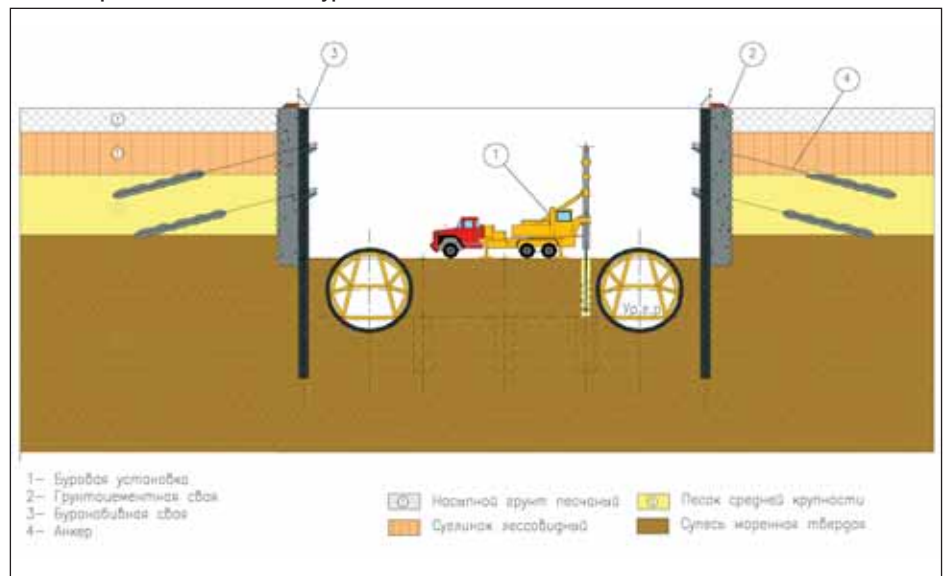


Рис. 4. Устройство крепления котлована грунтоцементными буронабивными сваями

Рис. 5. Устройство высокоточных буровых колонн



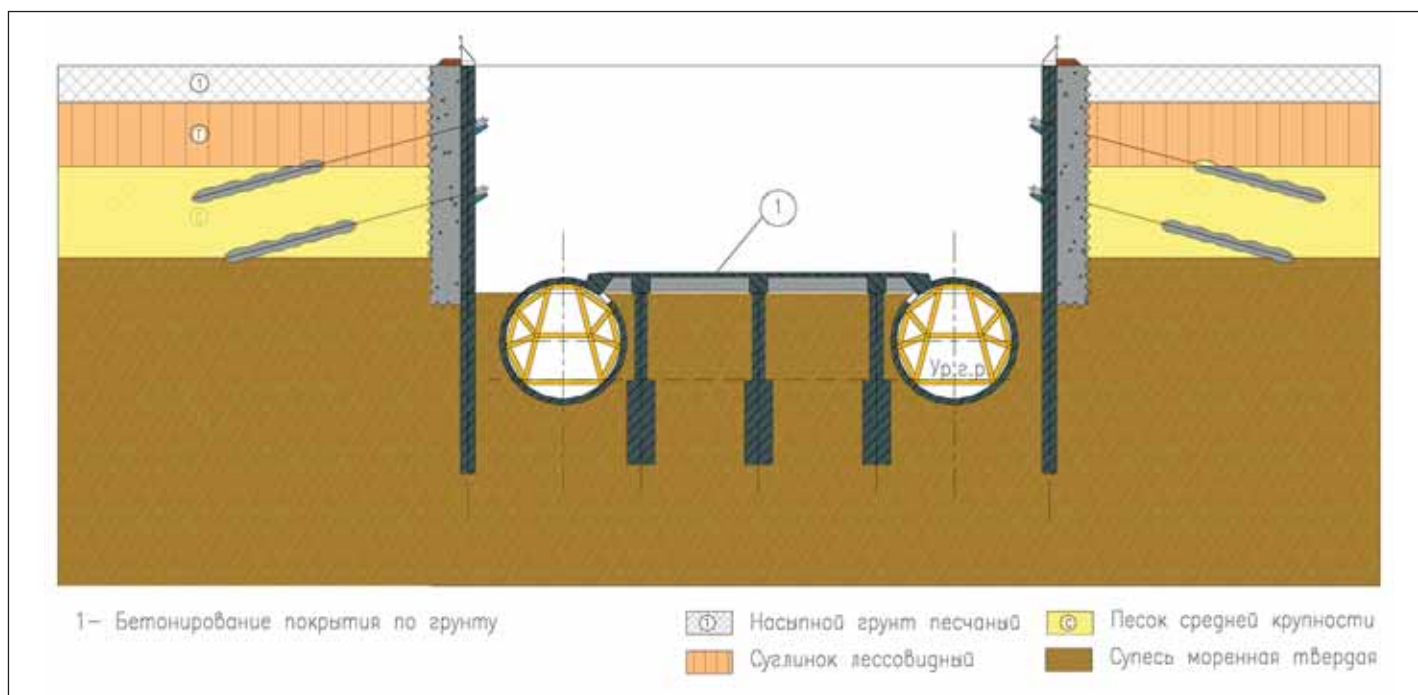


Рис. 6. Сооружение покрытия ВСБ

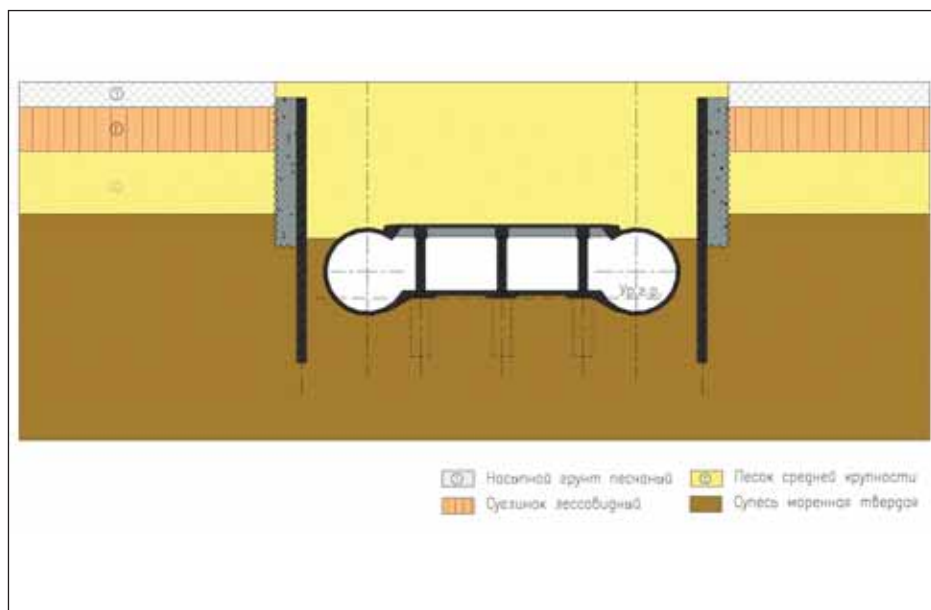


Рис. 7. Сооружение ВСБ под жёстким диском перекрытия

7. Обратная засыпка сооруженных конструкций.

8. Восстановление движения наземного автотранспорта.

9. Разработка грунта и сооружение ВСБ под жестким диском перекрытия (рис. 7).

### Применение прогрессивных решений

При проектировании участка продления первой линии нашли отражение следующие прогрессивные решения.

- Компоновочные решения станционных комплексов выполнены с учетом полного использования подземного пространства на участках открытого способа работ (размещение части вестибюлей над тупиком, над платформой, над СТП).

- Применение унифицированных сборных железобетонных конструкций тоннель-

ных обделок, станционных и притоннельных сооружений.

- Проектирование обделок W8 по водонепроницаемости.

- Применение пленочных материалов для гидроизоляции обделок открытого способа работ.

- Переход на современную проходческую технику для варианта трассы ускоряет строительство метрополитена, обеспечивает его долговечность, снижая эксплуатационные затраты, обеспечивает минимум вмешательства в нормальную жизнь города путем сокращения объема переключений инженерных коммуникаций и сокращения количества объездов. Применение современных проходческих щитов позволяет осуществлять проходку без сноса существующих зданий и сооружений.

### Выводы

Сооружение линии метрополитена по варианту имеет ряд преимуществ.

Компоновочные решения станционного комплекса «Михалова» и всех притоннельных сооружений выполнены с учетом полного использования подземного пространства на участках открытого способа работ.

Проходка тоннелей тоннелепроходческим комплексом (ТПК) и процесс монтажа блоков тоннельной обделки полностью механизированы и безопасны, контрольное нагнетание не требуется, процесс чеканки швов исключен. Количество технологических операций, выполняемых вручную, сведено к минимуму.

Сокращение времени нарушения движения по оживленному проспекту Дзержинского до минимума (ст. «Михалово» – 1 год, ВСБ – 4 месяца).

Применение установок струйной цементации для устройства противодеформационных и противодиффузионных завес позволяет укреплять различные грунты, как гравийные, так и мелкодисперсные глины и илы.

Отсутствие протяженных участков открытого способа работ и сокращение длины объездов строительных площадок уменьшает объем срезки плодородного слоя грунта и увеличивает число сохраняемых зеленых насаждений.

Более массивные блоки тоннельной обделки, более глубокое расположение трассы метрополитена позволяют снизить шумовое и вибрационное воздействие от подвижного состава метрополитена.

Общая экономия капитальных вложений в строительство линии метрополитена по варианту в сравнении с основной трассой составит около 27 млн руб. в ценах 1991 г.



compactfiltertechnik

### Все из одних рук:

Проветривание и обеспыливание в тоннелестроении и горном деле (осевые вентиляторы, обеспыливатели сухого и мокрого принципа действия, гибкие вентиляционные трубы, инжиниринг для вентиляции и обеспыливания)

## НАШЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - ВОЗДУХ

### ОБЕСПЫЛИВАНИЕ



compactfiltertechnik



[www.cft-gmbh.de](http://www.cft-gmbh.de)

### ВЫРАБОТКА

**Korfmann**  
Luftechnik GmbH



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

### СБЫТ ЧЕРЕЗ ФИРМУ

**CFT GmbH**  
compactfiltertechnik

Beisenstraße 39 - 41  
D-45964 Gladbeck

Tel. +49 2043 4811-0  
Fax +49 2043 481120  
E-Mail [mail@cft-gmbh.de](mailto:mail@cft-gmbh.de)  
Internet [www.cft-gmbh.de](http://www.cft-gmbh.de)

### НАПРАВЛЕНИЕ



**Schauenburg**  
Tunnel Ventilation GmbH



[www.tunnel-ventilation.de](http://www.tunnel-ventilation.de)

## CFT GmbH COMPACT FILTER TECHNIC – ПРЕДПРИЯТИЕ, ДЕЛАЮЩЕЕ ВОЗДУХ ЧИСТЫМ

В рамках деловой программы Международной градостроительной выставки «City Build – Подземный город 2013» (Москва, 15–17 октября 2013 г.) была проведена Международная конференция «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве подземных сооружений на современном этапе. Тенденции. Проблемы. Перспективы».

В ходе конференции состоялось представление производственной деятельности фирмы CFT GmbH Compact Filter Technic, которая заключается в следующем:

- производство и реализация обеспыливателей сухого и мокрого принципа действия и их комплектующих для тоннелестроения и горнодобывающей промышленности;

- производство и эксклюзивные права на реализацию осевых вентиляторов и их комплектующих фирмы Korfmann Lüfttechnik GmbH (Германия) для местного, главного и порталного проветривания, для оснащения обеспыливателей CFT GmbH в тоннелестроении и горнодобывающей промышленности;

- эксклюзивные права на реализацию гибких плоских и спиральных вентиляционных труб и их комплектующих фирмы Shauenburg Tunnel-Ventilation GmbH (Германия) для проветривания в тоннелестроении и горнодобывающей промышленности;

- эксклюзивные права на реализацию оборудования для охлаждения воздуха и его комплектующих фирмы WAT Wärme-Austausch-Technik GmbH (Германия) для тоннелестроения и горнодобывающей промышленности.

В своем докладе «Вентиляция и обеспыливание при комбайновой проходке подземных сооружений» на конференции специалист фирмы Богдан Кормуш отметил, что с 1999 г. фирма CFT GmbH, продолжая более чем пятидесятилетние традиции и опыт фирмы-предшественницы Hölter GmbH, успешно внедряет передовые технологии, предлагает и разрабатывает как системные решения, так и индивидуальные подходы по обеспыливанию и проветриванию (вентиляции) в тоннелестроении и горнодобывающей промышленности во многих странах мира, в том числе в России, Украине, Республике Беларусь, Республике Казахстан.

Обеспыливание при ведении проходческих работ, снабжение проходческих забоев свежим воздухом в процессе строительства тоннелей требует весьма детальной проработки, тщательного проектирования и качественного изготовления необходимого оборудования, чтобы подача воздуха, обеспыливание всегда соответствовали высоким требованиям производственной безопасности, охраны труда, здоровья людей и окружающей среды.

Высококвалифицированный инженерно-технический персонал, профессиональная компетентность в работе с деловыми парт-



Рис. 1. Сухие обеспыливатели CFT GmbH отличаются высокой производительностью и передовой технологией



Рис. 2. Обеспыливатель мокрого принципа действия

нерами при ведении совместных проектов, производственная гибкость, внедрение современного ноу-хау на фирме CFT GmbH – это и есть в конечном результате выпуск и реализация высокопроизводительного и качественного обеспыливающего и вентиляционного оборудования.

Немаловажно также заметить, что проектирование, изготовление, план пуско-наладочных работ, проведение шефмонтажа, обучение обслуживающего персонала, сервисное и ремонтное обслуживание – все это осуществляется специалистами фирмы CFT GmbH.

### Обеспыливатели сухого принципа действия

Во всем мире в сфере тоннелестроения и горной промышленности обеспыливающие установки сухого принципа действия CFT (рис. 1) отличаются от установок иных производителей высокой степенью очистки при одновременно низком расходе энергии.

В отношении срока службы и экономической рентабельности, а также в сфере охраны

труда и здоровья, сухие обеспыливатели CFT пользуются неоспоримым преимуществом.

Сухие обеспыливатели CFT, независимо от концентрации пыли, беспрепятственно достигают наивысших результатов, обеспечивая степень очистки, составляющую почти 99,98 %. Данные показатели значительно ниже действующих по всему миру законодательных норм по предельно допустимой концентрации содержания пыли в очищенном воздухе.

Благодаря такой высокой степени очистки соблюдаются не только все действующие, но также и обязывающие в будущем законодательные требования.

Запатентованная модульная конструкция дает возможность изготовления установок разных размеров и малых габаритов, производительность которых, в зависимости от выбора, может составлять от 30 до 3000 м<sup>3</sup>/мин. Наряду со стандартными, возможен заказ специальных размеров.

Обеспыливающие установки с компактными фильтрующими элементами можно



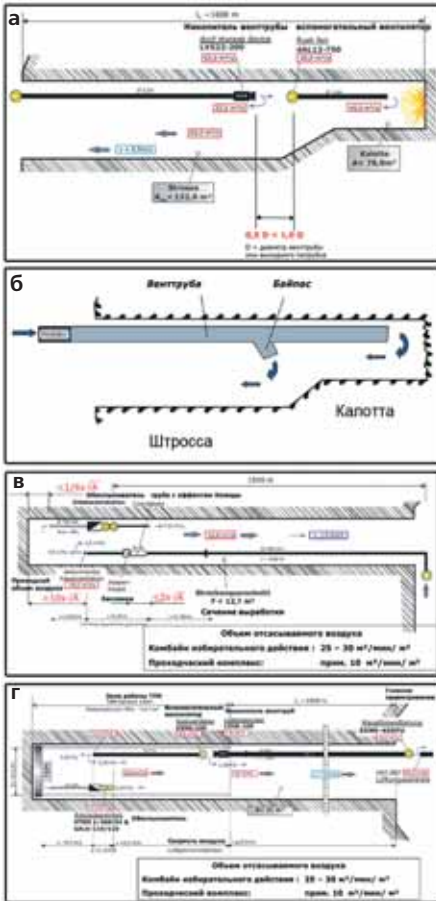


Рис. 3. Примеры применения вентиляционных систем фирмы в различных условиях: а – проходка в системе калотта/штрасса с применением вспомогательного вентилятора местного проветривания; б – проходка в системе калотта/штрасса с применением байпаса; в – вентиляция с обеспыливанием. Проходка комбайном избирательного действия; г – вентиляция с обеспыливанием. Проходка тоннелепроходческим комплексом

разделять и расширять в зависимости от создавшейся ситуации и тем самым оптимально приспособлять их под определенные условия.

Обеспыливающие установки могут быть конструктивно оснащены различными видами разгрузки пыли, например: бункер со шнековым конвейером, трубчатый цепной конвейер, двухцепной скребковый конвейер.

Необходимое разрежение обеспечивается посредством осевого или радиального вентилятора, устанавливаемого на чистой стороне обеспыливателя. В зависимости от условий могут быть использованы различные материалы фильтрующих элементов.

Все типоряды сухих обеспыливателей CFT GmbH сертифицированы и имеют разрешительные документы, как в невзрывоопасном исполнении, так и во взрывобезопасном, по требованиям АTEX во многих странах мира, в том числе России, Украине, Республике Беларусь, Республике Казахстан.

### Обеспыливатели мокрого принципа действия

В типоряд продукции CFT НОЕКО-Vent входит компактный, высокоэффективный

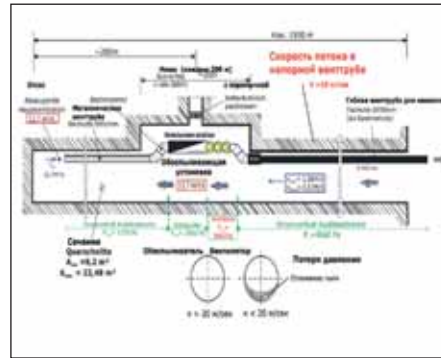


Рис. 4. Система с всасывающим проветриванием

обеспыливатель мокрого принципа действия (рис. 2).

Данные обеспыливатели используются, в частности, в горной промышленности и тоннелестроении.

Мокрые обеспыливатели CFT, независимо от концентрации пыли, беспрепятственно достигают наивысших результатов, обеспечивая степень очистки, составляющую почти 99,6 %.

Прочная конструкция обеспыливателей CFT Ноeko-Vent была разработана для эксплуатации во влажных и мокрых условиях. Параллельно происходит очистка нитрозных газов после взрывных работ.

Высококачественные комплектующие элементы являются основой для надежной эксплуатации с низким износом, не требующей частого техобслуживания. Вентиляторы размещены на чистой стороне. Данные обеспыливающие установки, благодаря относительно низкой мощности привода, отличаются значительно низким расходом электроэнергии.

Указанные качества гарантируют безопасную и эффективную работу в различных сферах действия, прежде всего для обеспыливания инертной пыли, а также при проходке Континуус-Майнером. Кроме этого, наряду с пылью осуществляется очистка воздуха от газообразных вредных веществ после взрывных работ.

Благодаря диапазону производительности от 120 до 1500 м<sup>3</sup>/мин CFT в состоянии поставлять обеспыливающие установки различных размеров, приспособленные для разных условий и обеспечивающие все требования.

Все типоряды мокрых обеспыливателей CFT GmbH сертифицированы и имеют разрешительные документы, как в невзрывоопасном исполнении, так и во взрывобезопасном, по требованиям АTEX во многих странах мира, в том числе России, Украине, Республике Беларусь, Республике Казахстан.

В докладе г-на Йенса Кегенхоффа «Технические критерии при выборе вентиляционного оборудования для строительства тоннелей» была представлена продукция фирмы Korfmann Lüftungstechnik GmbH по вентиляционным системам для тоннелестроения на основе использования механизированных тоннелепроходческих комплексов и проходческих комбайнов избирательного действия и тоннельных экскаваторов (в том числе с буровзрывным способом проходки).

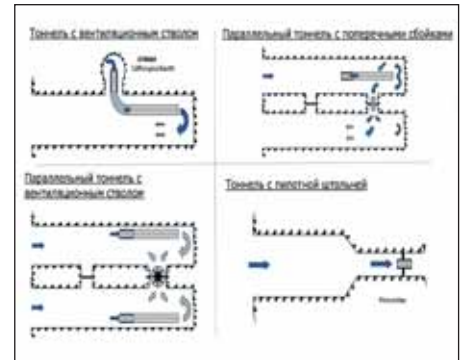


Рис. 5. Система циркуляции воздуха

Автор в своём докладе привел примеры различных вентиляционных систем, включая системы с нагнетательным (рис. 3) и с всасывающим проветриванием (рис. 4).

В докладе были отмечены технические критерии, которые учитываются при выборе вентиляционного оборудования, например:

- принимаемые системы циркуляции воздуха (рис. 5);
- факторы для расчета подаваемого воздуха: размер тоннеля, сечение, длина, способ проходки, наличие эмиссии отработанных газов/двигателей, запыленность, диапазон температуры, место нахождения и т. п.

Для расчета параметров автор предлагает учитывать наличие воздуха на месте эксплуатации и требования к вентиляционным трубам.

В результате выполненных расчетов вентиляционной установки имеется возможность:

- определить нужный объем свежего воздуха для каждой рабочей зоны;
- проверить последующие рабочие зоны на наличие свежего воздуха;
- запланировать резерв на случай изменения рабочего процесса;
- применять вентиляционные трубы с наибольшим диаметром;
- удерживать давление в трубах в общепринятых пределах;
- выполнять повороты и изгибы труб аэродинамически оптимизированными;
- подобрать оптимальное управление (расход энергии).

Фирма CFT GmbH Compact Filter Technic как опытный и надежный партнер всегда находится в распоряжении своих клиентов и готова к совместному исполнению проектов в области обеспыливания и вентиляции в метро- и тоннелестроении, а также горнодобывающей промышленности.

Фирма постоянно сопровождает каждый отдельный проект на всех этапах его реализации, начиная от разработки конструкторской документации и получения необходимых разрешений до изготовления оборудования, его монтажа на строительной площадке и ввода техники в эксплуатацию. Предоставление всего комплекса услуг из одних рук является залогом успешного делового сотрудничества.



# ИННОВАЦИОННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СОЗДАНИИ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНА

С. Г. Елгаев, д. т. н., Тоннельная ассоциация России

М. А. Мутушев, д. т. н., проф., Тоннельная ассоциация России

Одной из важных задач при строительстве линий метрополитена является сооружение вентиляционных камер основной (тоннельной) вентиляции на станциях и перегонах. Эта работа занимает значительную часть срока, отведенного на строительство, и составляет до 20 % его стоимости. Особую сложность представляет строительство перегонных вентиляционных камер, так как это связано с созданием дополнительных стройплощадок и вытекающим отсюда перекрытием уличного движения, перекладкой инженерных коммуникаций и др.

Вместе с тем, работа подобных систем вентиляции зачастую (особенно в теплое время года) не обеспечивает требуемых параметров температурно-влажностного режима (ТВР) в тоннелях и на станциях метро, в связи с чем во всем мире ведется поиск новых способов вентиляции (и кондиционирования воздуха) метро. Необходимо отметить, что оснащение вагонов метрополитена автономными кондиционерами, организация местного охлаждения воздуха, подаваемого на станции и т. д., не дает оптимального решения этой проблемы, так как требует существенных дополнительных экономических затрат, роста энергопотребления, и самое главное – не решает задачи комплексной ассимиляции теплоизбытков в подземном сооружении.

В 2011 г. группой российских инженеров и ученых (в том числе авторов настоящей статьи) сделано изобретение «Способ вентиляции метрополитена» (патент № 2462595, приоритет от 01.11.2011 г., патентообладатель – Тоннельная ассоциация России), обеспечивающее создание комфортного микроклимата в подземных сооружениях метрополитена. Способ основан на реализации квазизамкнутого рециркуляционного цикла с термодинамической обработкой воздуха,

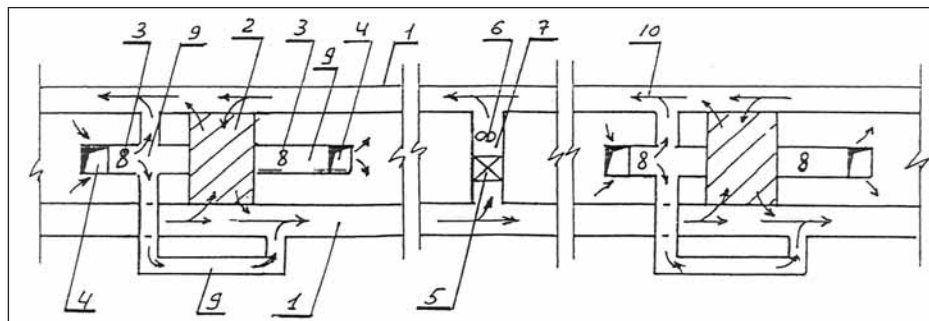


Рис. 1. Рециркуляция с размещением камер термодинамической обработки воздуха (К.Т.О.) в межтоннельной сбойке: 1 – тоннели метрополитена; 2 – станции метрополитена; 3 – вентиляторные агрегаты; 4 – вентиляционные стволы (каналы) для подачи (удаления) воздуха с поверхности; 5 – камеры термодинамической обработки воздуха (К.Т.О.); 6 – вентилятор для принудительной рециркуляции воздуха; 7 – межтоннельная сбойка; 8 – притоннельное сооружение; 9 – станционная вентиляционная камера; 10 – потоки воздуха

сочетаемого с традиционной приточно-вытяжной схемой.

При выполнении расчетов воздухообмена метро по разным видам вредностей (теплоизбытки, влаговыделения, выделения  $\text{CO}_2$ , пылевыведения и др.), определяющим получается воздухообмен по теплоизбыткам, который в 4–5 раз больше, чем ближайший к нему воздухообмен по  $\text{CO}_2$ . И даже с учетом явно «перестраховочного» требования пункта 5.8.2.2. СНиП 32-02-2003 (актуализированная редакция) о подаче наружного воздуха не менее  $30 \text{ м}^3/\text{ч}$  на одного пассажира, воздухообмен получается как минимум вдвое меньше рассчитанного по теплоизбыткам.

В настоящее время производительность вентиляционных систем метрополитена принимается на основании расчетов по теплоизбыткам. При этом учитываются теплоаккумулирующие свойства окружающих грунтов, поглощающих (в теплый период года) часть избыточного тепла. В новом способе вентиляции сохраняется приточно-вытяжной воздухообмен с атмосферой, но в значительно сокращен-

ном объеме, рассчитанном исходя из задачи обеспечения нормативного газового состава воздушной среды метрополитена. Для ассимиляции же теплоизбытков предлагается расчетное количество воздуха включать в работу по рециркуляционному циклу и пропускать его через камеры термодинамической обработки (К.Т.О.). Данный цикл нельзя считать замкнутым, так как определенное количество воздуха все же работает в приточно-вытяжном режиме, поэтому этот цикл является квазизамкнутым.

Идея о термодинамической обработке воздуха неоднократно возникала у специалистов и ранее, но она рассматривалась лишь в отношении обработки приточного воздуха и признавалась нереализуемой из-за чрезвычайно больших объемов этого воздуха. Обработка же рециркуляционного воздуха, количество которого значительно меньше, чем приточного, является реально выполнимой задачей.

Предложенный способ вентиляции метрополитена поясняется схемами на рис. 1, 2 и 3.

Могут также применяться струйные вентиляторы для создания эжекционного эф-

Рис. 2. Рециркуляция с размещением К.Т.О. в притоннельном сооружении: 1 – тоннели метрополитена; 2 – станции метрополитена; 3 – вентиляторные агрегаты; 4 – вентиляционные стволы (каналы) для подачи (удаления) воздуха с поверхности; 5 – камеры термодинамической обработки воздуха (К.Т.О.); 6 – вентилятор для принудительной рециркуляции воздуха; 8 – притоннельное сооружение; 9 – станционная вентиляционная камера; 10 – потоки воздуха

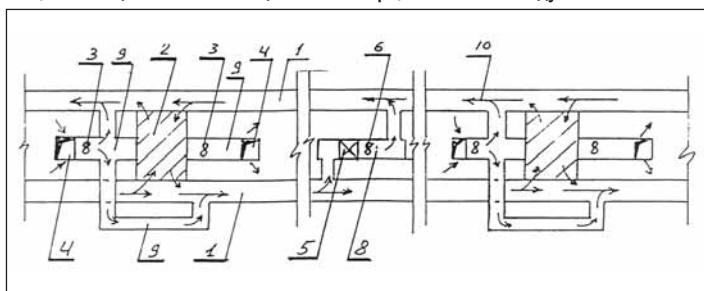
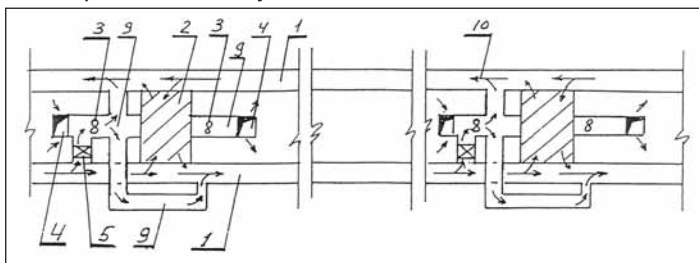


Рис. 3. Рециркуляция с размещением К.Т.О. в станционных вентиляционных камерах: 1 – тоннели метрополитена; 2 – станции метрополитена; 3 – вентиляторные агрегаты; 4 – вентиляционные стволы (каналы) для подачи (удаления) воздуха с поверхности; 5 – камеры термодинамической обработки воздуха (К.Т.О.); 6 – вентилятор для принудительной рециркуляции воздуха; 7 – межтоннельная сбойка; 8 – притоннельное сооружение; 9 – станционная вентиляционная камера; 10 – потоки воздуха



фекта и придания потокам воздуха необходимого направления.

Как видно, для сооружения К.Т.О. вскрытия земной поверхности и освоения дополнительных строительных площадок не требуется.

Для термодинамической обработки воздуха могут использоваться (по выбору проектировщика) разные виды процессов, из которых наиболее подходящими представляются:

- охлаждение воздуха с его осушением при непосредственном контакте с водой (политропический процесс);

- охлаждение с осушением воздуха при применении поверхностных охладителей. При проектировании участков строительства Московского метрополитена, в результате сравнительного анализа вариантов и выполненных расчетов, принят вариант размещения К.Т.О. в станционных венткамерах и использования процесса охлаждения с осушением воздуха с помощью поверхностных охладителей. Работа К.Т.О. при этом организуется по схеме «фанкойл» (поверхностный охладитель) – «чиллер», размещаемый в наземных помещениях станции. К преимуществам данного способа относятся:

- возможность круглогодичного, независимо от погодных условий на поверхности, поддержания нормативного ТВР и газового состава воздуха в метро;

- сокращение интенсивности дутьевых потоков, так как теперь движущийся по тоннелям «поршневой» воздух суммируется со значительно меньшим количеством приточного/вытяжного воздуха, чем при прямооточном способе вентиляции;

- отсутствие необходимости сооружения венткамер на перегонах и, соответственно, перекрытия уличного движения, перекладки инженерных коммуникаций и др. Экономия, достигаемая за счет этого, может составить (ориентировочно) до 200–250 млн рублей на перегон.

В целях развития и практической реализации предложенного способа разработаны полные модели некоторых вариантов устройства вентиляционных систем, также защищенные патентами Российской Федерации. Это – «Квазизамкнутая система вентиляции тоннелей и станций метрополитена» (приоритет от 27.12.2012 г.), показанная на рис. 4, и «Квазизамкнутая система вентиляции метрополитена с двухпутными перегонными тоннелями» (приоритет от 09.10.2013 г.), рис. 5.

На рис. 4 видно, что для обеспечения оптимальной аэродинамики сопряжения воздушных каналов с тоннелями осуществляется под углом, определенным расчетом проектировщиков. Такая схема исключает попадание холодного воздуха непосредственно на станции (туда он попадает отепленным, после прохождения по тоннелям), поэтому подогрев воздуха зимой не требуется. Вентиляционные камеры технологически играют роль пристанционных противодутьевых сбоек, перехватывающих значительную часть воздуха, циркулирующего по тоннелям и препятствующих его прорыву на станции в полном количестве. На-

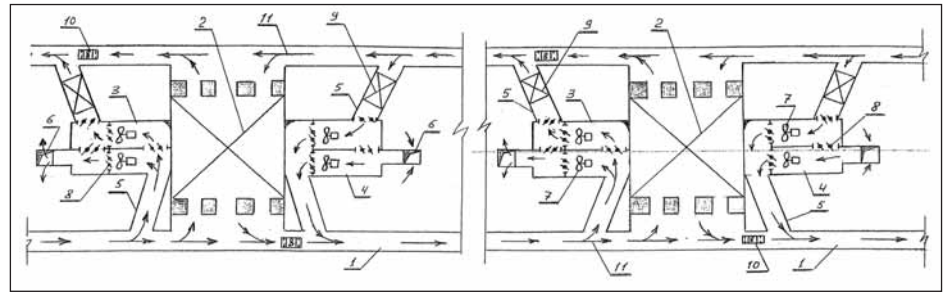


Рис. 4. Квазизамкнутая система вентиляции тоннелей и станций метрополитена

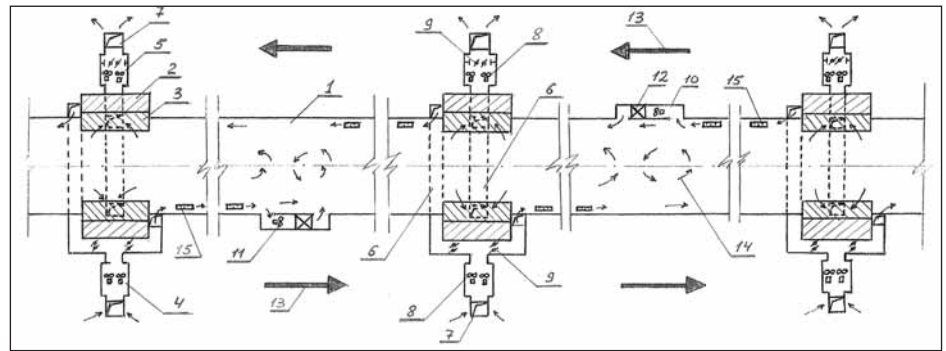


Рис. 5. Квазизамкнутая система вентиляции метрополитена с двухпутными перегонными тоннелями: 1 – двухпутный перегонный тоннель метрополитена; 2 – служебные помещения станции метрополитена; 3 – платформа и подплатформенные пространства станции метрополитена; 4 – приточная вентиляционная камера; 5 – вытяжная вентиляционная камера; 6 – приточные (вытяжные) воздушные каналы; 7 – каналы притока (вытяжки) воздуха из атмосферы; 8 – приточные (вытяжные) вентиляционные агрегаты; 9 – регулировочные створчатые клапаны; 10 – камеры термодинамической обработки воздуха; 11 – рециркуляционный вентиляционный агрегат; 12 – установка термодинамической обработки воздуха; 13 – направление движения поездов; 14 – потоки воздуха (вихри); 15 – струйные вентиляторы

личие створчатых клапанов позволяет, в зависимости от условий обстановки на поверхности и в подземном сооружении, регулировать работу системы от полностью рециркуляционного до полностью приточно-вытяжного режимов. При этом, при отсутствии необходимости, установки термодинамической обработки воздуха могут быть отключены.

На рис. 5 схематично представлен участок линии метрополитена с тремя станциями и двухпутными перегонными тоннелями между ними. Поезда, движущиеся в двухпутном перегонном тоннеле во встречных направлениях, увлекают с собой определенные массы воздуха, в результате чего образуются встречные воздушные потоки, турбулентность и вихри. Как следствие – воздух в тоннеле активно перемешивается и создается практически однородная воздушная среда, как по газовому составу, так и по температурно-влажностным характеристикам. В этой ситуации задачей К.Т.О., работающей в рециркуляционном режиме, является постоянное «изъятие» из тоннеля масс воздуха, насыщенного теплом, его обработка и подача в тоннель масс охлажденного воздуха (параметры температуры и относительной влажности определяются расчетом проектировщиков).

Данная система обладает всеми теми же преимуществами, что системы для метрополитенов с однопутными перегонными тоннелями. Сооружение камеры термодинамической обработки воздуха возможно без вскрытия земной поверхности и создания строительной площадки на поверхности. Для обеспечения циркуляции хладагента между поверхностны-

ми охладителями и «чиллером», размещаемым на поверхности, может потребоваться бурение скважины (причем не на проезжей части, а в удобном месте) с ходком, соединяющим ее с К.Т.О., но это намного проще и дешевле, чем проходка шахтного ствола.

Все предлагаемые системы и способ соответствуют нормативным требованиям по кратности воздухообмена, скорости воздушного потока, обеспечению дымоудаления (в случае пожара), рециркуляции воздуха и его термодинамической обработке и др.

Вынуждены отметить, что несмотря на явные преимущества предлагаемых технических решений, нам и нашим соавторам изобретений (В. М. Абрамсон, А. В. Ершов, А. М. Земельман, Е. Г. Королев) пришлось встретиться с возражениями отдельных консервативно настроенных специалистов. Эти специалисты пытаются решить современные проблемы вентиляции метрополитенов путем совершенствования технических решений, которые были передовыми в 60–70 годах прошлого века, когда кондиционирование воздуха не было распространено ни в метрополитенах, ни в других областях жизни. Сегодня – ситуация принципиально иная. Задачи обеспечения необходимых температурно-влажностных параметров везде решаются не только (и не столько) путем совершенствования аэродинамических решений, но и путем термодинамической обработки воздуха. Кондиционирование воздуха – это неотъемлемая составляющая научно-технического прогресса и метрополитены не должны (и не могут) оставаться консервативным исключением.

# РЕЗИНОВЫЕ ЭЛАСТОМЕРНЫЕ УПЛОТНИТЕЛИ ДЛЯ СЕГМЕНТОВ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ



**Вернер Грабе**, доктор инженерных наук, эксперт рабочей группы STUVA, фирма WGD Германия

Уже более 25 лет, начиная с проходки тоннеля под Ла-Маншем, резиновый профиль на основе EPDM-резины используется для уплотнения зазоров между блоками тоннельной обделки. Из этих блоков под защитой тоннелепроходческого комплекса собираются кольца будущего тоннеля. Задача разработчиков резиновых уплотнений состоит в том, чтобы они выдерживали давление внешней среды (до 10 бар), не пропускали воду и исправно выполняли свою функцию в течение всего расчетного срока службы тоннеля.

## Канавка для уплотнительной прокладки

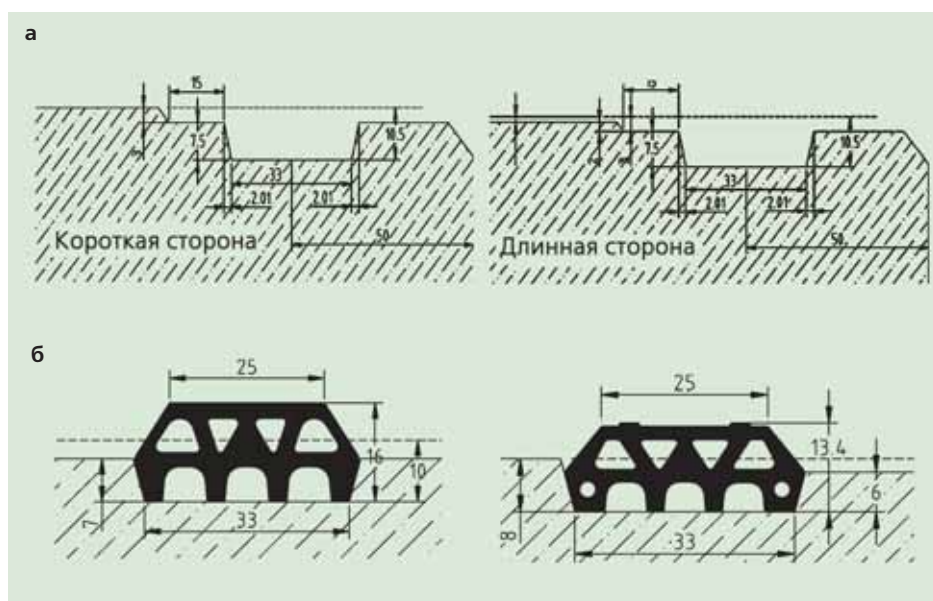
Обычно бетонные сегменты с одной уплотнительной рамкой имеют канавку по всему периметру ближе к внешней (наружной) стороне тоннеля. В эту канавку и вставляется резиновый уплотнитель, а с наружной стороны он соприкасается с раствором для нагнетания, которым заполняют заобделочное пространство. Такое расположение имеет свои преимущества:

- уплотнитель менее подвержен перепадам температур, ускоряющим процесс старения резины;
- в случае возгорания в тоннеле резина защищена от воздействия высоких температур.

Уплотнитель опоясывает блок, обычно имея прямую геометрию на коротких сторонах (места межблочных стыков), и изогнутую геометрию на длинных сторонах (места межкольцевых стыков).

В самых первых проектах применялись резиновые уплотнения шириной 50 мм и глубиной канавок 10 мм. В настоящее время проектировщик может выбрать геометрию профиля из устоявшихся типоразмеров. Наиболее популярна геометрия профиля с шириной 33 мм и глубиной канавки 10 или 11 мм. Реже применяются профили другой ширины – 26, 33, 36, 44 или 50 мм. Ширина канавки измеряется в нижней части паза, а глубина – от внешней бетонной поверхности сегмента.

Ширина и глубина выбираемого профиля зависят от проектного давления воды на сегменты тоннеля (и уплотнитель соответ-



Примеры дизайна канавки и уплотнителя: а – сегмент железнодорожного тоннеля в Израиле; б – примеры профиля резинового уплотнения шириной 33 мм

ственно), от проектной деформации кольца из-за давления грунта и от величины допускаемого смещения между сегментами кольца. Чем выше эти параметры, тем профиль должен быть шире, а канавка глубже. Обычно глубина канавки под уплотнитель составляет 60–65 % от высоты профиля.

Канавка в бетонном сегменте проектируется несколько шире и глубже профиля уплотнения с таким расчетом, чтобы оставить небольшой зазор для слоя наносимого клея на деформацию профиля при установке кольца и избежать таким образом отколов бетона. Для этого паз делается на 2 или 3 мм глубже, зазор по ширине составляет от 10 до 20 мм. С той же целью внешние углы бетонных сегментов часто имеют фаску 5×5 или 10×10 мм.

Канавка под уплотнитель должна отстоять от внешнего края блока на расстоянии одной ширины уплотнителя как минимум. При несоблюдении этого условия край бетона будет выкрошен и разорван уплотнителем.

Боковые стороны канавки (как и профиля) имеют наклон 15°, что дает требуемую

боковую поддержку профилю и позволяет легко проводить распалубку сегментов при производстве блоков.

Резиновый уплотнитель разработан таким образом, что он опирается «ногами» на дно канавки, площадь его опоры должна обеспечивать хороший контакт с бетоном. Неровности бетонной поверхности и воздушные пузыри в районе канавки недопустимы, это отрицательно сказывается на герметичности. Для этого пространство канавки должно быть предварительно обработано специальными составами.

Резиновый уплотнитель имеет специальную внутреннюю структуру (пустоты), позволяющую ему при монтаже кольца в тоннеле сжиматься в вертикальном направлении и расширяться в боковом. Это позволяет максимально противодействовать давлению воды, которая может завернуть и вырвать уплотнитель из канавки. При правильном расчете уплотнитель обеспечивает максимально плотное прилегание стыков блоков, не позволяя воде проникнуть через уплотнитель или сместить его.

Что вы слышали про **МЯГКИЙ УГОЛ**?  
**РЕШЕНИЕ** для **ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ** воды,  
позволяющее избежать **СКОЛЫ** в углах сегментов  
бетонной тоннельной обделки.

Эксклюзивно от компании **ES RUBBER**, эксперта передовых решений  
в области **УПЛОТНИТЕЛЕЙ**, работающего на рынке более **20 ЛЕТ**.



- Мягкие углы – это гарантия отличной водонепроницаемости без сколов бетона
- Надежная система уплотнения на весь срок эксплуатации тоннеля
- Тесты MPA NRW Dortmund, MPA Bau Hannover в соответствии с рекомендациям STUVA
- Сертификаты Соответствия ГОСТ Р и РОССТРОЙСЕРТИФИКАЦИЯ



реклама

**ESRUBBER**  
EIN SHEMER RUBBER IND.

ES Rubber Ltd. | Kibbutz Ein Shemer | M.P. Hefer 38816, Israel  
T. +972 4.637.1037 | export@esrubber.com | www.esrubber.com  
ООО "ЕС Импорт" | 127051, Россия, Москва | пер. Б. Сухаревский, 20, стр. 1  
Тел +7 925 193 51 39, факс +7 499 995 06 80 | office@esimport.ru

**WGD**  
Water Gate Development

# ВЕРТИКАЛЬНЫЕ И НАКЛОННЫЕ ТОННЕЛИ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ (ЭВОЛЮЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ СООРУЖЕНИЯ)

В. А. Гарбер, д. т. н., Филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ «тоннели и метрополитены»

**Вертикальные тоннели (шахтные стволы) и наклонные (эскалаторные) тоннели являются обязательной компонентой комплексов строительства транспортных тоннелей и метрополитенов глубокого заложения (закрытого способа работ).**

**И хотя стоимость строительства шахтных стволов и эскалаторных тоннелей не превышает 10 % от общей стоимости указанных подземных комплексов, их значение является очень важным, поскольку начало строительства основных сооружений, комплексов транспортных тоннелей и линий метрополитенов в большей степени зависит от окончания сооружения шахтных стволов и эскалаторных тоннелей (наклонных ходов). Рассмотрим историю развития строительства этих сооружений.**

## Шахтные стволы

Вертикальным шахтным стволом называют горную выработку, соединяющую тоннель с поверхностью земли и предназначенную для обслуживания подземных работ в период строительства. Через ствол шахты осуществляют подъем на дневную поверхность грунта, спуск и подъем людей, он также служит для целей энергоснабжения, вентиляции и водоотлива.

По окончании строительства шахтные стволы в большинстве случаев используют для постоянной эксплуатации метрополитенов или тоннелей.

Поперечное сечение стволов шахт при строительстве тоннелей и метрополитенов обычно принимается круглым, чаще всего с внутренним диаметром в свету 5,1 или 5,6 м и в редких случаях 7,9 м. Прямоугольная форма сечения допускается для стволов шахт временного назначения.

Материалом для отделки стволов шахт круглого поперечного сечения в зависимости от горно-геологических условий может быть монолитный бетон, сборный железобетон и в тяжелых горно-геологических условиях – чугунные тубинги. При прямоугольном сечении в качестве материала используют дерево, иногда сборный железобетон.

Основными элементами шахтного ствола являются (рис. 1) устье ствола (оголовник) 1, вертикальный ствол 2, сопряжение ствола с околоствольным двором 3, водосборник (зумпф) 5, околоствольный двор 4. Устье ствола обычно сооружается в малоустойчивых грунтах, поэтому оно должно иметь достаточно надежную крепь, которая наряду с восприятием горного давления будет также воспринимать давление от копра, крана и других механизмов и машин. При проходке ствола в слабых грунтах (рис. 2а) применяется конструкция устья с воротником в виде железобетонной плиты. Цилиндрическая часть 2 устья при сборной обделке бетонируется вместе с первым кольцом тубингов 3. В более крепких грунтах (рис. 2б) устраивается устье из нескольких тубинговых колец б обделки ствола, прикрепленных болтами к верхнему кольцу 4, которое опирается на бетонную подушку 5.

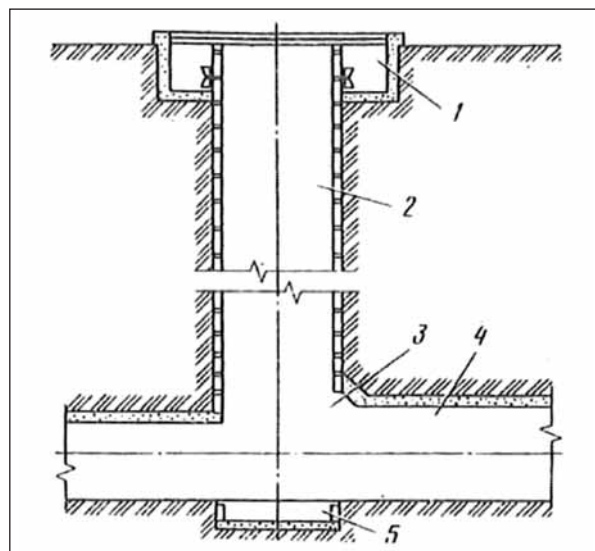
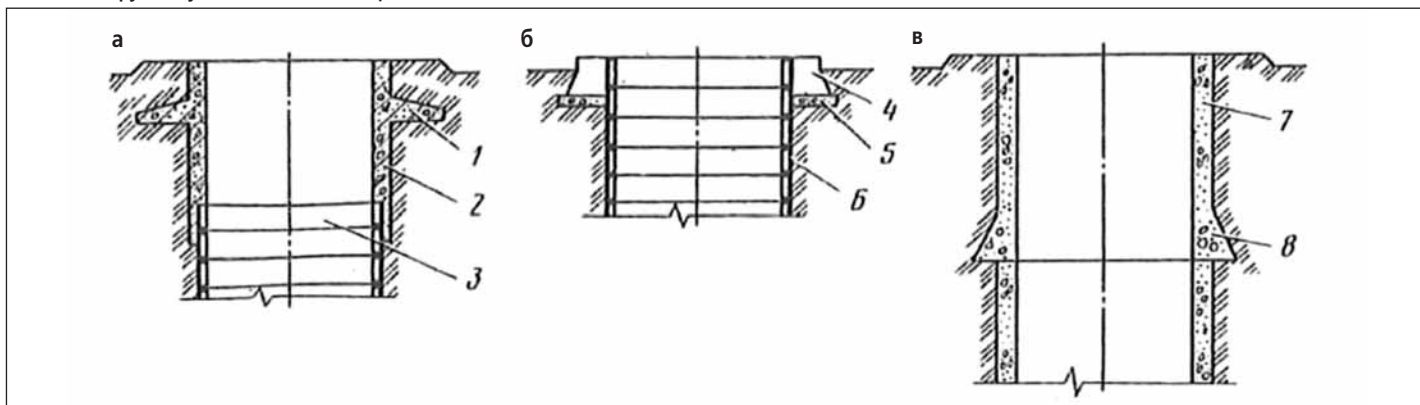


Рис. 1. Конструкция шахтного ствола

При монолитной обделке (рис. 2в) сооружается опорный венец (башмак) 8 в виде уступа, выше которого располагается устье 7.

В зависимости от устойчивости и водообильности грунтового массива различают обычные и специальные способы сооружения стволов. Обычные способы проходки стволов глубиной до 50 м применяют в ус-

Рис. 2. Конструкция устьев ствола: а – с воротником; б – из тубинговых колец; в – из монолитного бетона



тойчивых грунтах: глинистых, гравийно-галечниковых, щебенистых и песчаных, расположенных выше уровня капиллярного поднятия воды, а также в крепких скальных грунтах при ожидаемом притоке воды в забое до  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Проходку стволов обычными способами глубиной более 50 м в устойчивых грунтах следует производить при притоках воды в забой до  $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При соответствующем технико-экономическом обосновании можно производить проходку стволов обычным способом при притоках воды в забой до  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$  с последующим давлением и доведением притока до  $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Обычные способы являются основными и наиболее распространенными.

Специальные способы сооружения стволов шахт применяют в рыхлых, неустойчивых или плавунных грунтах, а также при пересечении крепких, трещиноватых водоносных грунтов.

При обычных способах проходки различают проходку в крепких грунтах с применением буровзрывных работ и проходку в мягких грунтах, где разработку ведут с применением отбойных молотков или пневмолотов.

По глубине шахтный ствол разбивается на звенья, длина которых в зависимости от устойчивости грунтов принимается от нескольких метров до нескольких десятков метров. В зависимости от очередности производства работ в звеньях различают технологические схемы: последовательную, параллельную, параллельно-щитовую и совмещенную.

При последовательной схеме (рис. 3а) в каждом звене сначала производят выемку грунта 2, а затем возводят обделку 1. По окончании производят аналогичные работы в нижнем звене и т. д. Такая схема сооружения стволов шахт может быть рекомендована для стволов глубиной до 100 м, а также в неустойчивых и водоносных грунтах с применением специальных способов.

При параллельной схеме (рис. 3б) работы ведут в двух звеньях, в нижнем производят выемку грунта 2 в направлении сверху вниз и при необходимости устанавливают временную крепь, в верхнем смежном звене с подвешенного полка 3 снизу вверх возводят обделку 1. Эту схему применяют при диаметре стволов более 4,5 м и глубине ствола более 250 м. Однако в связи со сложностью работ применение такой схемы ограничено.

При совмещенной схеме (рис. 3в) возведение сборной обделки входит в проходческий цикл. По этой схеме очередное кольцо обделки монтируют одновременно с уборкой грунта 2 из забоя. Простота организации работ позволяет достигнуть высоких скоростей проходки.

### Сооружение стволов шахт обычными способами

#### Разработка грунта

Технологическая схема проходки ствола и соответствующий ей комплекс проход-

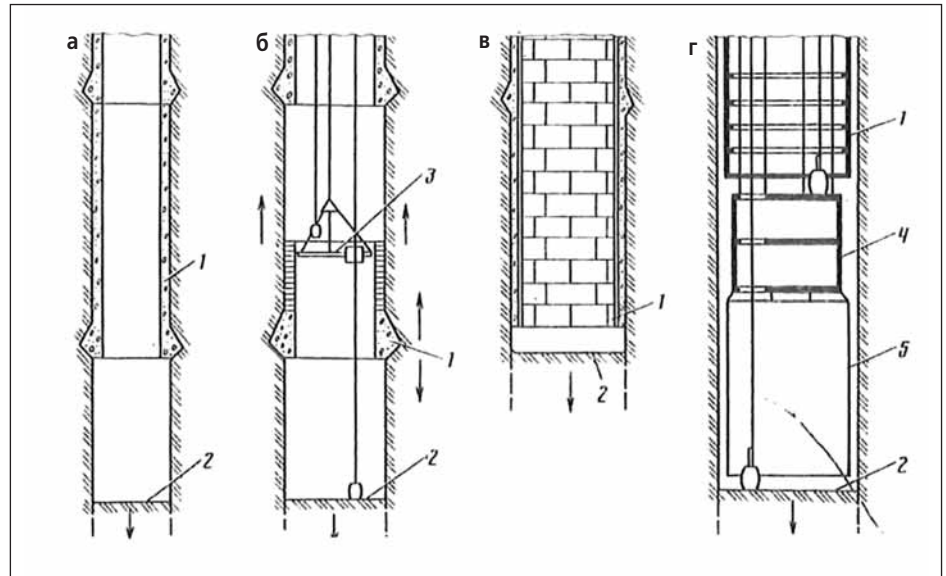


Рис. 3. Технологические схемы проходки ствола

ческого оборудования зависят от диаметра, глубины ствола и требуемой скорости проходки. Сооружение неглубокого ствола в обычных инженерно-геологических условиях осуществляется с применением копра или без него по последовательной или совмещенной схеме.

Наиболее прогрессивной является совмещенная схема с возведением тюбинговой железобетонной или чугунной обделки или монолитной бетонной ввиду отсутствия в этом случае временной крепи. Разработку мягких грунтов (коэффициент крепости до 1,5) при проходке шахтных стволов производят отбойными молотками.

Разработку грунта ведут по одной из следующих схем.

*Первая схема.* Забой разрабатывают в три фазы. Углубляют на 0,5–0,6 м центральную часть забоя и разрабатывают грунт по всей площади забоя с оставлением бермы шириной 0,4–0,5 м у внутренних граней металлической крепи. Затем на такую же глубину разрабатывают второй уступ до полной заходки в 1 м. Берму и грунт под крепью ранее установленного кольца разрабатывают одновременно с установкой крепи нового кольца.

*Вторая схема.* Забой разрабатывают в две фазы – уступами по 0,5 м без оставления бермы. Под тюбингами ранее установленного кольца крепи производят выемку грунта в определенной последовательности. Тюбинги навешивают сразу же по мере выемки грунта. После замыкания кольца крепи разрабатывают остальную площадь

забоя. Перебор грунта за внешней стороной крепи ствола не допускается.

При наличии притока воды сооружают водосборник (зумпф) размером от  $1,0 \times 1,0$  до  $1,5 \times 1,5$  м и глубиной не менее 1 м. Зумпф располагают несколько в стороне от бадьего отделения.

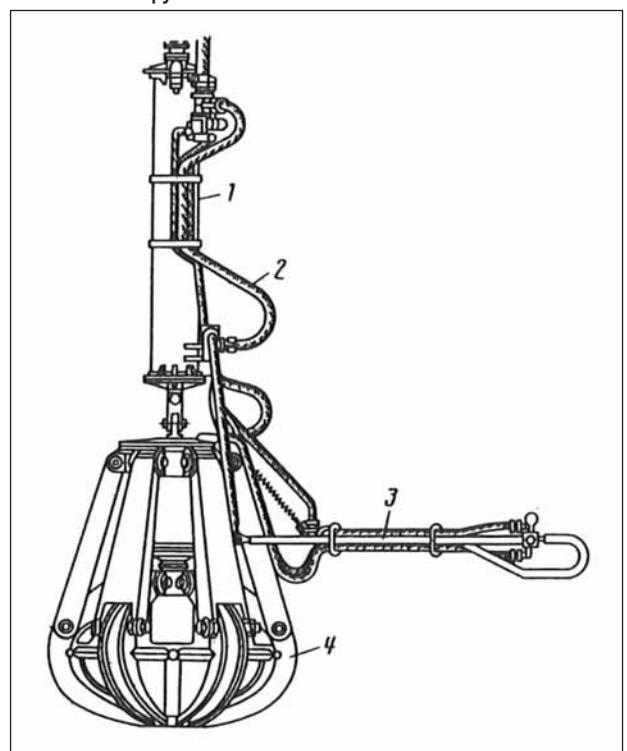
Разработку твердых грунтов (коэффициент крепости более 1,5) производят с применением буровзрывных работ.

#### Погрузка и подъем грунта на поверхность

Погрузка грунта в стволах производится механическими пневмогрузчиками грейферного типа.

Пневмогрузчик КС-3 (рис. 4) состоит из шестилопастного грейфера 4 вместимостью

Рис. 4. Пневмогрузчик КС-3



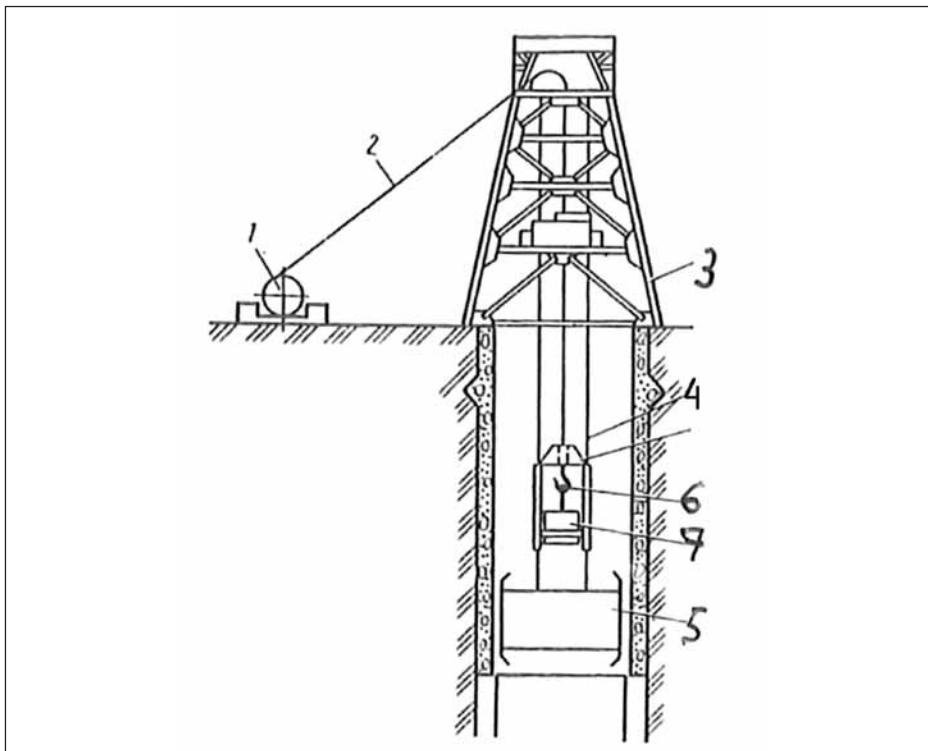


Рис. 5. Комплекс оборудования проходческого подъема

0,22 м<sup>3</sup>, пневмоподъемника, водила 3 и пневмосистем 2.

Пневмогрузчик КС-3 применяют при проходке стволов шахт глубиной до 150–200 м.

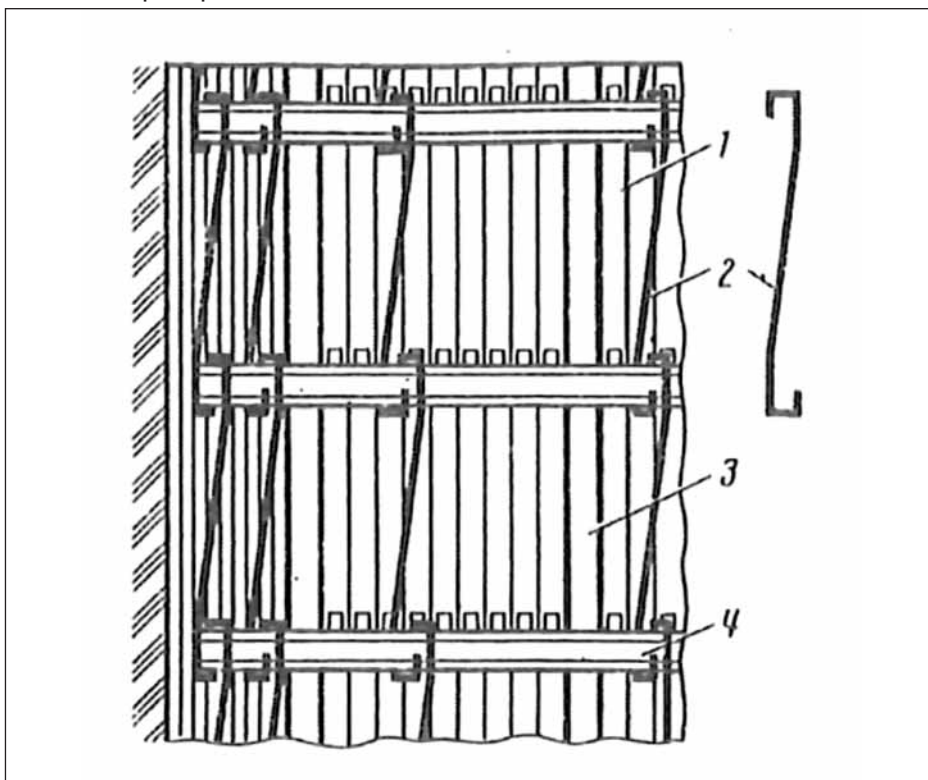
В стволах большей глубины погрузка грунта производится погрузочными машинами с механизированным вождением грейфера.

Подъемная установка при проходке вертикальных стволов шахт служит для спуска

и подъема людей, подъема грунта, спуска материалов, спуска и подъема инструментов. В комплекс оборудования проходческого подъема (рис. 5) входят копер 3, подъемная машина 1 с канатом 2, прицепное устройство 6, бадня 7, направляющая рамка 5 и направляющие канаты 4, проходческий полок 8.

Надшахтный копер, при сборной обделке стволов сооружают из тубинговых колец. При монолитной обделке стволов ко-

Рис. 6. Инвентарная крепь на металлических кольцах



пер сооружают из металлического проката с обшивкой.

### Временное крепление

При сооружении стволов шахт для восприятия горного давления и изоляции применяется постоянная крепь (обделка). В случае необходимости устанавливают временную крепь. Применение только обделки характерно для сооружения стволов по совмещенной схеме производства работ, а применение временной и постоянной крепи – при последовательной и параллельной схемам работ.

Для крепления стволов круглой формы используют инвентарную крепь на металлических кольцах (рис. 6). Обычно кольцо состоит из четырех-восьми сегментов, изготавливаемых из швеллерных балок № 16–22, соединенных между собой накладками и штырями. Нижнее кольцо 4 подвешивают к верхнему кольцу на подвесках Z-образной формы из круглой стали диаметром 25–30 мм, через 1,5–2 м по периметру кольца. Расстояние между кольцами по вертикали принимают 0,7–1,2 м в зависимости от крепости грунта. Между кольцами забивают стойки 3 диаметром 10–12 см из дерева или из стальных труб диаметром 100 мм для придания крепи жесткости в вертикальном направлении. За кольца затягивают доски или горбыли 1 толщиной 30–50 мм, а пустоты между затяжкой и стенкой заполняют грунтом. Верхние концы крючьев первого кольца каждого участка заделывают в опорный башмак обделки, а нижние на 0,3–0,5 м выпускают ниже башмака и на них подвешивают первое кольцо временной крепи следующей заходки.

Все сегменты каждого кольца опускают в ствол одновременно. Погрузку грунта в период возведения крепи не производят.

В крепких, трещиноватых грунтах может быть применен набрызг-бетон, который наносится на стенки ствола с подвесного полка, или анкерная крепь в сочетании с металлической сеткой. Длина участка с временной крепью не должна превышать 40 м.

### Монтаж сборной обделки

В ствол отдельные тубинги опускают на траверсе, которая подвешена к канату подъемной машины. У забоя тубинг освобождают и перецепляют с помощью траверсы к тросу тельфера.

Если на строительстве отсутствует тельфер, то применяют специальное устройство для подвески тубингов (рис. 7), которое состоит из редукторной лебедки 3 с крановой стрелой 5 и поворотного круга 4, расположенных на подвесном полке 2. Тубинг 7 подают захватом 6 к месту установки, центрируют оправками, устанавливают болты и закрепляют их гайками. Полок подвешен на канатах 1 к двум пяти-тонным лебедкам.



В качестве гидроизоляционных работ выполняются следующие операции: первичное нагнетание цементно-песчаного раствора за обделку, третье-четвертое кольцо, контрольное нагнетание цементного раствора с отставанием от забоя на 8–10 колец, очистку швов между тубингами и их последующую чеканку.

**Возведение монолитной бетонной обделки**

Прогрессивная технология бетонных работ при любой схеме сооружения ствола основывается на применении переносной металлической опалубки и бетононасосов.

При последовательной схеме организации работ возведение бетонной обделки производится после проходки ствола на глубину звена (25–40 м). В устойчивых грунтах на дне забоя сооружают опорный венец (башмак), устраивают настил из досок, на котором устанавливают первую секцию металлической опалубки. Опалубка состоит для удобства спуска и установки в стволе из отдельных сегментов, соединяемых болтами; диаметр ее равняется внутреннему диаметру обделки ствола, высота чаще всего составляет 1 м. После проверки правильности установки секции опалубки ее раскрепляют, и пространство между ней и стенками ствола заполняют слоями бетонной смеси, которая уплотняется. После окончания укладки бетона на высоту секции, на нее устанавливают следующую, соединяют их болтами и затем продолжают возводить обделку. Бетонирование второй и последующих секций производят с подвешенного двухэтажного полка, на нижнем этаже которого находятся рабочие, а верхний этаж является предохранительным. При установке всех секций опалубки временную крепь разбирают для повторного использования.

При совмещенной схеме организации работ по сооружению ствола шахты бетонную обделку возводят сверху вниз вслед за подвиганием забоя, а быстротвердеющую бетонную смесь укладывают снизу вверх за передвижную металлическую опалубку.

**Возведение набрызг-бетонной крепи**

Набрызг-бетонную или же комбинированную крепь из набрызг-бетона, анкеров и металлической сетки применяют в следующих случаях: в обычных инженерно-геологических условиях, за исключением наносов, слабых, рыхлых, сильно трещиноватых и выветренных пород, а также грунтов, склонных к пучению; при притоке воды не более 8 м/ч; для обеспечения большей устойчивости обнаженных грунтов в забое с обязательным применением контурного взрывания шпуров.

Для возведения набрызг-бетонной крепи в стволах применяются как набрызг-

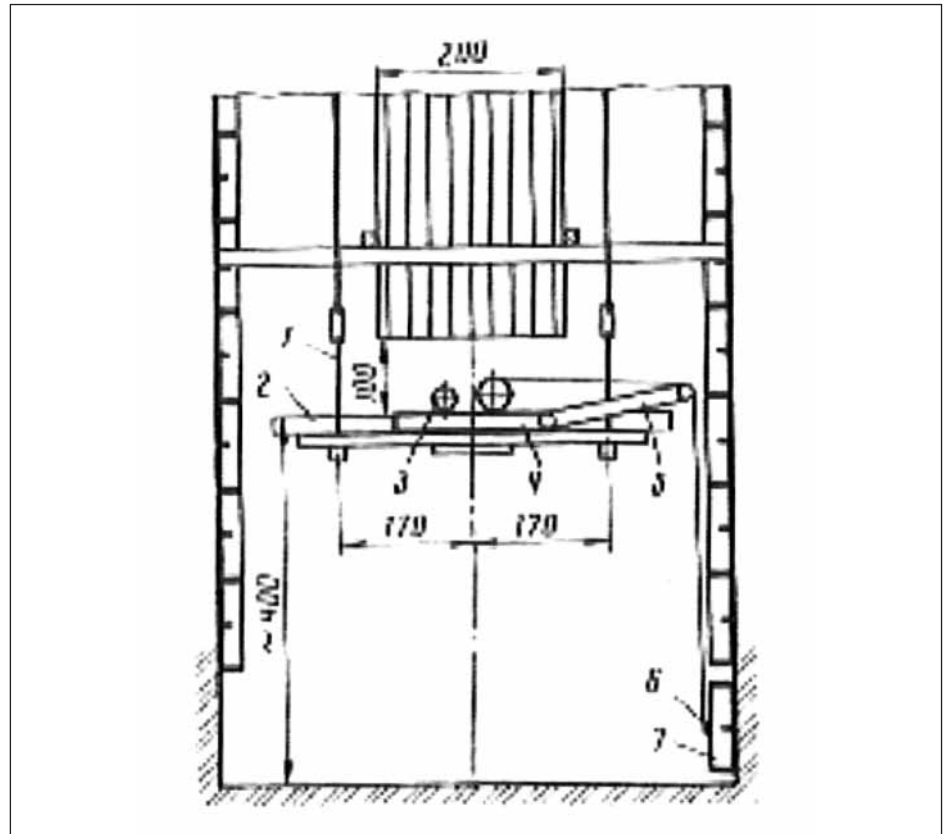


Рис. 7. Устройство для подвески тубингов

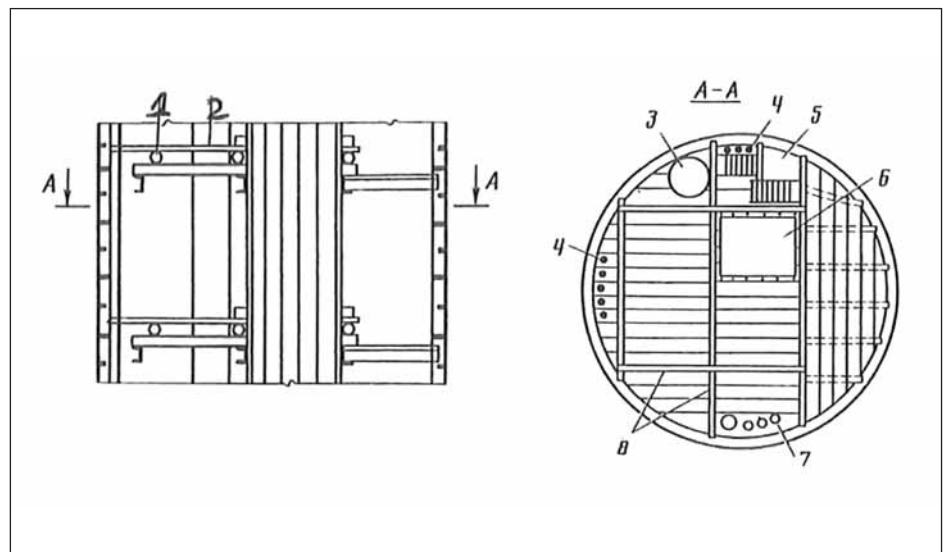


Рис. 8. Армирование ствола

бетономашин, предназначенные для работы в горизонтальных выработках, так и специальные однокамерные машины для работы в стволах.

**Армирование ствола**

Армирование ствола производится одновременно с выемкой грунта и возведением обделки и входит как составная операция в проходческий цикл.

Установка расстрелов, устройство лестничных отделений, прокладка трубопроводов и кабелей, предназначенных для постоянной эксплуатации ствола, выполняются частично в период проходки и окончательно – после ее завершения.

Армирование ствола (рис. 8) включает установку постоянных расстрелов 8, монтаж постоянных трубопроводов 3, 7 и электрокабелей 4, устройство временного лестничного 5 и бадьевого 6 отделений. Расстрелы устанавливают через 3 м по высоте; на них укладывают прогоны 1 из бревен диаметром 16 см, по которым настилают доски 2 толщиной 50 мм.

После проходки ствола на полную глубину снимают временное армирование, сооружают постоянные лестничное и лесоспускное отделения, устанавливают деревянные проводники (направляющие) для клетей, завершая постоянную армировку ствола.

(Продолжение следует)

# ИННОВАЦИОННЫЙ МЕТРОПОЕЗД «НЕВА». ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

**В. А. Мнацаканов**, генеральный директор ООО «ТОМАК, ЛТД», член-корр. Российской инженерной академии, к. т. н., kamotltd@gmail.com



**Т**яговый привод с коллекторными двигателями постоянного тока обладает оптимальными для метрополитена тяговыми характеристиками. Он обеспечивает интенсивный разгон метропоездов до 60 км/ч (при максимальной скорости в эксплуатации 90 км/ч). Считалось, что асинхронный тяговый привод (АТП) может только повторить эти характеристики с той или иной степенью эффективности. Общеизвестно, что коэффициент полезного действия АТП, включающего, наряду с асинхронными двигателями (АД), автономный инвертор и массивные сглаживающие дроссели, примерно на 5 % ниже, чем у привода с коллекторными двигателями, поскольку потери мощности на коллекторе на порядок меньше, чем в инверторах и сглаживающих дросселях.

И все-таки АТП появился на вагонах метро. И оказалось, что здесь он не менее востребован и эффективен, чем на скоростных электропоездах. Причем востребован в силу частых пусков и торможений, которые на вагонах метро следуют друг за другом 10–15 ч в сутки. Именно в этих режимах коллекторные двигатели и контакторная аппаратура вагонов сильно перегружаются, искрят, теряют надежность и выходят из строя. И именно здесь весьма ощутимы преимущества АТП не только ввиду повышения надежности тяги, но и в силу улучшения тяговых и тормозных свойств вагонов в зоне высоких скоростей движения (60–90 км/ч).

Метропоезд «НеВа» с АТП был спроектирован и построен в 2011 г. по заказу Петербургского метрополитена. Его по праву мож-

но назвать инновационным. На нем внедрены самые современные и эффективные конструкторские и технологические решения в области тягового электропривода и механической части вагонов, разработанные фирмой «Шкода транспортная техника» и ЗАО «ВАГОНМАШ» при участии ОАО «НИИ вагоностроения» и ООО «ТОМАК, ЛТД». Благодаря этим новациям удалось в 6-вагонном составе выполнить 2 вагона безмоторными, не потеряв ни в ускорениях при разгоне, ни в замедлениях при торможении. За счет снятия с двух прицепных вагонов тягового электрооборудования масса 6-вагонного состава «НеВа» сократилась более чем на 10 т. Новые конструкции и технологии, примененные при устройстве механической части вагонов, позволили сократить массу каждого вагона еще на 5 т. В результате, сокращение массы 6-вагонного состава «НеВа» по сравнению с 6-вагонным составом из серийных вагонов мод. 81-717/714 составило около 40 т. А по сравнению с метропоездом «Яуза» масса «НеВа» сократилась более чем на 60 т. Иначе говоря, метропоезд «НеВа» при заполнении 150 пасс./вагон (50 % максимальной загрузки) имеет такую же массу, как порожний метропоезд «Яуза». Это – беспрецедентное сокращение массы метропоезда как по своим масштабам, так и по своему значению для энергоэффективности метрополитена как транспортной технологии.

Согласно статистике, более 90 % времени работы на линии в вагоне метрополитена находится менее 130 пассажиров. Это значит, что 90 % времени работы на линии гру-

женный метропоезд «НеВа» будет потреблять электроэнергии меньше, чем порожний метропоезд «Яуза», а метропоезд «Яуза» даже порожний будет потреблять электроэнергии больше, чем нагруженный на 50 % метропоезд «НеВа».

Тягово-энергетические испытания «НеВа» проводились в два этапа. На первом этапе – с тяговыми токами 5400 А/состав (на перспективу), характерными для будущих, модернизированных и усиленных по мощности тяговых сетей Петербургского метрополитена, а на втором – с уменьшенными на 25 % токами, соответствующими мощности сегодняшних систем энергоснабжения. Испытания первого метропоезда «НеВа» проводились в 2011 г. на Невско-Василеостровской линии Петербургского метрополитена, а опыты по аварийному въезду «НеВа» с максимальной загрузкой вагонов на подъём 60 % – на перегоне «Черная речка» – «Пионерская» Московско-Петроградской линии. Перспективные метропоезда должны безопасно работать на линиях традиционного метрополитена с уклонами до 60 %, а также на перспективных линиях мобильного метрополитена с уклонами до 100 % (в соответствии с ГОСТ трамвайные вагоны работают на уклонах 90–120 %).

Первый этап тягово-энергетических испытаний «НеВа» проводился по Программе, разработанной ОАО «НИИ вагоностроения» и согласованной с Петербургским метрополитеном. Специалисты ООО «ТОМАК, ЛТД», как разработчики алгоритмов тяги и торможения, участвовали в пуско-наладочных и

технологических обкатках метропоезда «НеВа», обеспечивали научно-техническое сопровождение его приемочных испытаний.

Следует отметить, что разработанные для «НеВы» алгоритмы тяги-торможения позволили не только сохранить ускорения и замедления максимально загруженного (8 ч/м<sup>2</sup>) метропоезда «НеВа» (с 66 % моторных осей) на уровне 1,3 м/с<sup>2</sup>, характерном для метропоездов со 100 % моторных осей, но и повысить динамику разгона и торможения «НеВы» по сравнению со всеми эксплуатируемыми сегодня в России и в странах СНГ метропоездами. Иначе говоря, из АТП, установленного на моторных вагонах «НеВы», были «выжаты» все его преимущества по реализуемой мощности тяги и сцеплению колеса с рельсом.

На рис. 1 представлены кривые разгона метропоездов «НеВа», «Русич», «Яуза» с АД и вагонов мод. 81-717/714 с коллекторными двигателями.

Как видно, в зоне скоростей 60–80 км/ч метропоезда «НеВа» и «Яуза» с АТП разгоняются гораздо интенсивнее, чем метропоезд мод. 81-717/714 с коллекторными двигателями, а «Русич» заметно отстает от них уже с 20 км/ч.

В табл. 1 приведены результаты испытаний по разгону метропоездов мод. 81-717, 81-720А («Яуза», 81-760) и 81-556/558 («НеВа») при загрузке вагонов 8 ч/м<sup>2</sup> и метропоезда мод. 81-740А/741А («Русич») при загрузке вагонов 6,6 ч/м<sup>2</sup>.

Важной особенностью метрополитена является ограниченная мощность его тяговых сетей. Эта особенность была учтена при проектировании тяги метропоезда «НеВа». Несмотря на меньшее энергопотребление из сети, метропоезд «НеВа» (с 66 % моторных осей) по показателям разгона до стандартных скоростей 30, 60 и 80 км/ч превосходит метропоезд «Яуза» (со 100 % моторных осей) на 3–15 %, а метропоезд «Русич» (с 66 % моторных осей) на 25–27 % (см. рис. 1). Максимальное ускорение загруженного метропоезда «НеВа» при разгоне составило 1,35 м/с<sup>2</sup>; у метропоездов «Яуза» (мод. 81-720А) – 1,27 м/с<sup>2</sup>, а у метропоезда «Русич» – 0,92 м/с<sup>2</sup>. Это показывает, что при проектировании тягового привода метропоезда «Русич» не были использованы эффективные алгоритмы тяги. В эксплуатации низкое ускорение метропоезда при разгоне приводит к необходимости двойного подключения тяги даже при работе на перегонах средней длины. Это вызывает перерасход электроэнергии на тягу и затрудняет работу машиниста в режимах нагона опозданий. Кроме того, более длительный уход метропоезда из зоны станции сокращает провозную способность линий метрополитена, которая ограничена именно пропускной способностью станции.

Существенные преимущества «НеВы» над всеми другими отечественными метропоездами с АТП вызваны не только тем, что средняя масса тары её вагона меньше, чем у метропоездов «Яуза» (81-720А, 81-760), а удель-

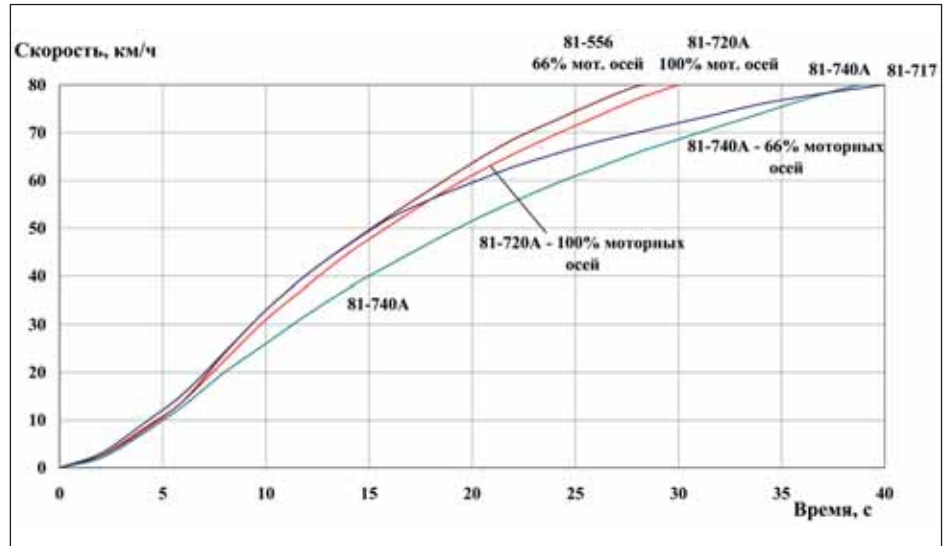


Рис. 1. Кривые разгона вагонов мод. 81-717 с коллекторными двигателями и вагонов с АД 81-556 («НеВа»), 81-720А («Яуза») при 8 ч/м<sup>2</sup> и 81-740А («Русич») при 6,6 ч/м<sup>2</sup>

Таблица 1

Результаты испытаний по разгону метропоездов

Скорость разгона, км/ч	Время разгона, с			
	81-серия 81-717/714	«Яуза» 81-720А/760	«Русич» 81-740А	«НеВа» 81-556
30	8,5	9,5	11	8
60	21	19,5	24	18
80	40	30	39	29

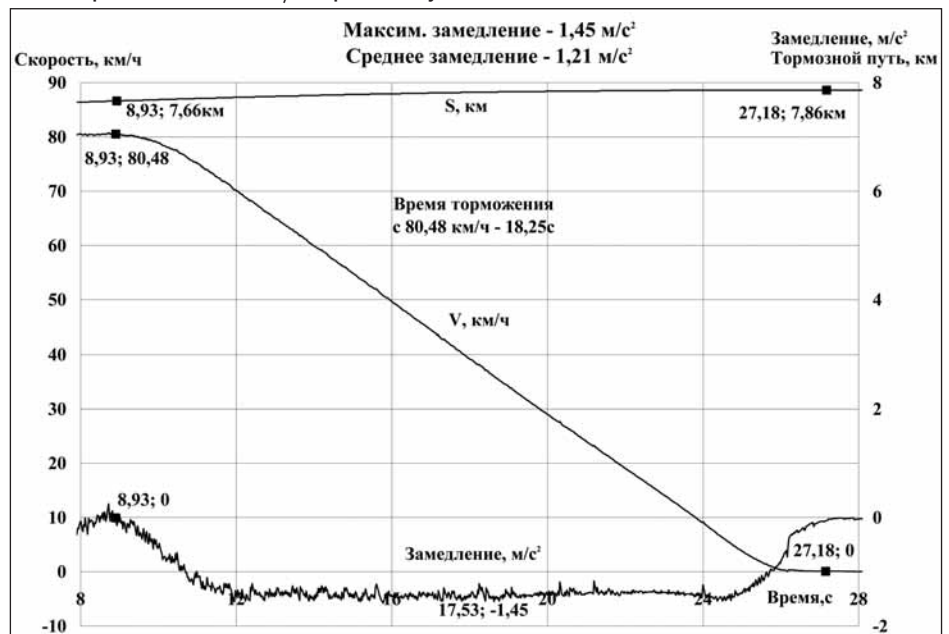
Примечание. Испытания: 81-717 – 1977 г., «Яуза» – 1999 г., «Русич» – 2003 г., «НеВа» – 2011 г. Энергопотребление из сети: 81-717 – 5200А, «НеВа» – 5400А, «Яуза» – 6000А.

ный показатель (масса тары/на 1 м длины вагона) на 22 % меньше, чем у «Русича». Но также и тем, что АТП моторных вагонов метропоезда «НеВа» впервые спроектированы для работы в «электровозном» режиме. В условиях ограниченной мощности тяговых сетей метрополитена они эффективно тянут не только себя, но и безмоторные прицеп-

ные вагоны. Поэтому «НеВа» (из 4-х моторных и 2-х безмоторных вагонов) разгоняется быстрее, чем «Яуза» со всеми моторными вагонами (см. рис. 1). При этом «НеВа» потребляет из сети меньшую мощность и расходует меньше энергии, чем «Яуза» и «Русич».

На рис. 2 представлена диаграмма служебного (реостатного) торможения «НеВы» со

Рис. 2. Торможение с 80,48 км/ч. Тормозной путь – 200 м



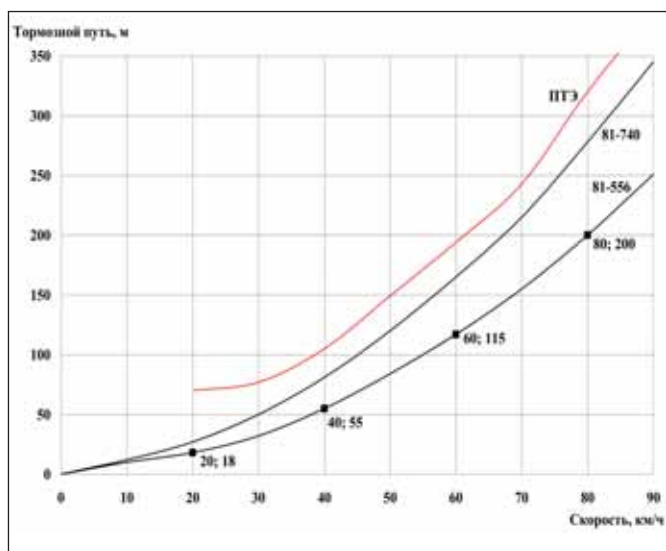


Рис. 3. Тормозные пути поездов метрополитена по испытаниям «Русич» (81-740), «НеВа» (81-556), ПТЭ

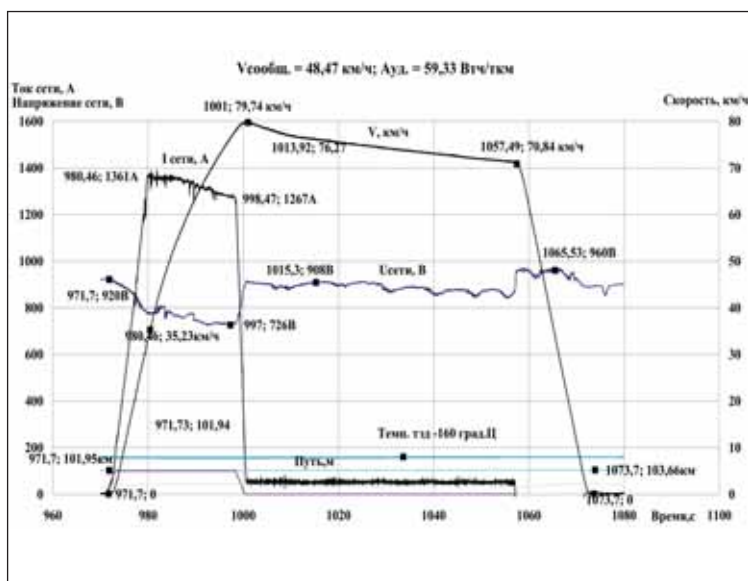


Рис. 4. Удельный расход электроэнергии на тягу

Показатели тягово-энергетической эффективности и конкурентоспособности метропоездов «НеВа» с АТП фирмы «Шкода» и «Яуза» с АТП фирмы «Альстом»

Таблица 2

Показатель	«Русич» мод. 81-740А/741А	«Яуза» мод. 81-720А/760	«НеВа» мод. 81-556/558	Преимущ. «НеВа» над «Яузой», %	
Конструктивные показатели					
Масса тары метропоезда, т	193*	223	159	29 (64т)	
Масса тары на 1 м длины, т/м	1,71	1,89	1,35	22	
Средняя масса вагона, т	48,2*	37,2	26,5	29 (10,7т)	
Вместимость поезда при 8 ч/м <sup>2</sup> , пасс.	1176	1594	1594	–	
Масса поезда с пасс. (при 8 ч/м <sup>2</sup> ), т	275,2**	334,6	270	20 (64т)	
Масса тары на 1-го пассажира, кг	164	140	100	29	
Процент моторных осей в поезде, %	67	100	67	33	
Удельная пусковая мощность, кВт/т	8,1	10	11,3	13	
Тягово-энергетические показатели					
Максим. ускорение до 30 км/ч, м/с <sup>2</sup>	0,92	1,27	1,35	6	
Темп нараст. ускорения, не более, м/с <sup>3</sup>	0,6	0,6	0,6	–	
Разгон до скорости, с:					
	30 км/ч	11	9,5	8	15
	60	24	19,5	18	8
80	39	30	29	3	
Макс. энергопотребление из сети, А	4000	6000	5400	10	
Максимальное замедление, м/с <sup>2</sup>	1,1	1,3	1,4	7,7	
Темп нараст. замедления, не более, м/с <sup>3</sup>	1,2	1,0	1,0	–	
Тормозной путь при служебном электрич. торможении со скорости, м:					
	20 км/ч, не более	33	25	18	28
	40	85	65	55	15
	60	175	150	117	22
	80	300	260	200	23
	90	380	330	250	24
Скорость сообщ. на перегоне 1700 м, км/ч	42	48	48	–	
Уд. расход электроэнергии на тягу при скор. сообщ. 48 км/ч на 1700 м, Втч/ткм	41***	59	58	2	
Расход энергии на тягу макс. загруж. метропоезда при пробеге 600 км со скоростью сообщ. 48 км/ч, тыс. кВтч	6,77***	11,84	9,4	20	

Примечание.

\*длина вагона – 28,15 м, состава – 112,6 м;

\*\*при 6,6 ч/м<sup>2</sup>;

\*\*\*при 42 км/ч

скорости 80 км/ч, а на рис. 3 – зависимость тормозного пути при служебном торможении от скорости его начала.

Очевиден большой проигрыш у «Русича» по сравнению с «НеВой» в тормозных путях при служебном реостатном торможении.

Тягово-энергетическим испытаниям по определению удельного расхода электроэнергии на тягу подвергался максимально нагруженный (из расчета 8 ч/м<sup>2</sup>) шестивагонный метропоезд «НеВа». Перед началом испытаний для получения корректных результатов тяговое электрооборудование метропоезда «НеВа» было подвергнуто интенсивному нагреву в цикле 30 пусков и торможений в час. При температуре в тоннеле 23 °С температура обмоток статора асинхронных тяговых двигателей в наиболее нагретой точке (в зоне задних лобовых частей обмотки) составляла 159–164 °С, а температура IGBT транзисторов инвертора – 40–44 °С.

Время разгона метропоезда «НеВа» до скорости 80 км/ч на перегоне «Рыбацкое» – «Обухово» (2-й путь, подъем 3‰) составило, в среднем, 29,5 с; на перегоне «Обухово» – «Рыбацкое» (1-й путь, спуск 3‰) – 28,4 с при средних потребляемых токах в расчете на 1 вагон около 1350 А.

Осциллограммы на рис. 4 относятся к режиму работы метропоезда «НеВа» на участке длиной 1700 м со скоростью сообщения 48,47 км/ч. В этом режиме движения удельный расход электроэнергии на тягу составил 59,33 Втч/ткм (при электродинамическом торможении и среднем напряжении в контактной сети 750 В). При движении метропоезда со скоростью сообщения 48 км/ч в указанных условиях удельный расход электроэнергии на тягу составит около 58 Втч/ткм.

Обработка всех снятых во время испытаний осциллограмм показала, что при стандартном цикле движения метропоезда «НеВа» по перегону 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) с применением в качестве служебного электродинамического (реостатного) торможения удельный расход электроэнергии на тягу зависит от среднего за цикл «тяги» напряжения в контактной сети и от профиля пу-

ти и изменяется в пределах 58–61 Втч/ткм (по ТЗ на «НеВу» должно быть не более 62 Втч/ткм).

В табл. 2 представлены показатели тягово-энергетической эффективности и конкурентоспособности метропоездов «НеВа» с АТП фирмы «Шкода» и «Яуза» с АТП фирмы «Альстом».

Выводы:

- у «Невы» масса тары меньше, чем у «Яузы» на 64 т (на 29 %);
- разгон «Невы» (4М+2П) эффективнее, чем у «Яузы» (6М) на 5 %, тормозные пути меньше на 15–28 %;
- расход электроэнергии на тягу у «Невы» меньше, чем у «Яузы» на 20 %.

Проигрыш «Русича» и «Яузы» по расходу электроэнергии на тягу по сравнению с инновационным метропоездом «НеВа» состоит не только в вышеуказанных процентах, выявленных в результате тягово-энергетических испытаний. В эксплуатации экономия электроэнергии у «Невы» по сравнению с «Яузой» и «Русичем» составит около 30 %. Это обусловлено тем, что алгоритмы тяги-торможения «Невы» разработаны на инновационной основе, с учетом того, что работа метропоезда осуществляется в условиях ограниченной мощности тяговых сетей и что при пуске АД отсутствуют реостатные потери. Алгоритмы тяги метропоездов «Яуза» и «Русич» практически повторяют алгоритмы работы вагонов мод. 81-717 с реостатным пуском тяговых двигателей. В результате недополучена экономия миллиардов киловатт-часов электроэнергии. Той электроэнергии, которая в эксплуатации могла бы компенсировать удорожание вагонов с АТП, поскольку стоимость электроэнергии, потребляемой вагоном метро за срок эксплуатации, примерно равна стоимости самого вагона.

Согласно Актам проверки, составленным по результатам испытаний, проведенных 20 и 30 ноября 2011 г. на подъеме 60 ‰ перегона «Черная речка» – «Пионерская», метропоезд «НеВа» при максимальной загрузке вагонов (8 ч/м<sup>2</sup>) после остановки на подъеме тронулся и въехал на него при одном и при двух отключенных моторных вагонах. Причем, даже при двух отключенных моторных вагонах состав двигался с увеличением скорости, которая в конце подъема составила 22 км/ч. Это особо отмечено в Акте от 20 ноября 2011 г.

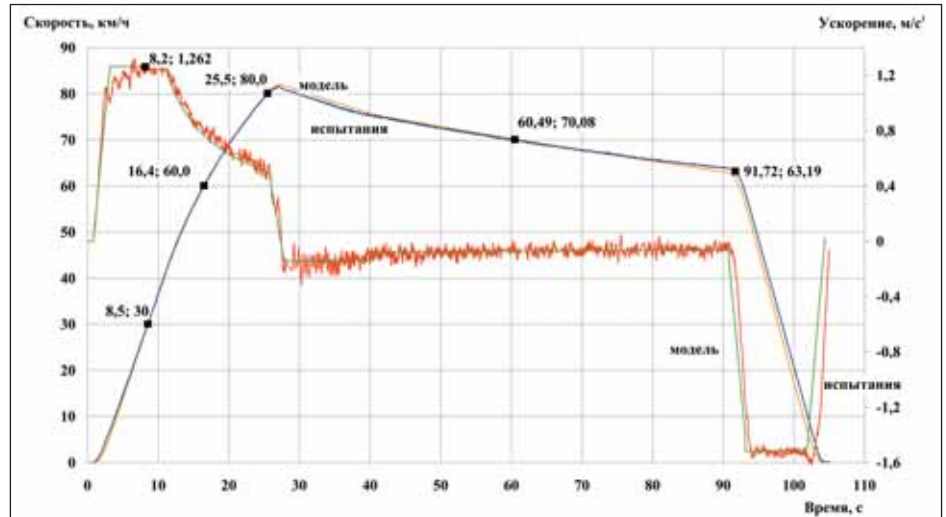


Рис. 5. Кривые движения порожнего состава по испытаниям и по модели,  $V_c = 48$  км/ч перегон 1700 м; стоянка 25с;  $a_{уд.} = 68,5$  Втч/ткм;  $I_{эф} = 132,5$  А

Для надежной работы на линиях мобильного метрополитена с уклонами и подъемами до 100 ‰ метропоезд «НеВа» должен быть выполнен в варианте со всеми моторными вагонами. В этом случае максимально нагруженный метропоезд «НеВа» даже при аварийном отключении тяги на одном из моторных вагонов сможет самостоятельно тронуться на подъеме 100 ‰ и въехать на него по пути 100–200 м с ускорением 0,69 м/с<sup>2</sup> менее чем за 30 с. Это достаточно высокое ускорение, оно превышает то ускорение, с которым на «площадке» разгоняются пригородные электропоезда. Поэтому работа метропоезда «НеВа» на подъемах 100 ‰ будет безопасной.

На втором этапе испытаний метропоезда «НеВа», в 2013 г., мощность, потребляемая им из контактной сети, была ограничена величиной 3000 кВт (ток контактной сети 4000 А; 1000 А/моторный вагон). В результате модернизаций, проведенных по требованию заказчика, масса «Невы» возросла на 3 т, в основном за счет роста массы прицепных вагонов.

На рис. 5 представлена экспериментально снятая диаграмма работы порожнего метропоезда «НеВа» на перегоне 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) с ограничением тока сети величиной 4000 А, а также расчетная диаграмма (модель) работы порожнего

состава «НеВа», составленная с учетом всех особенностей движения, включая реальный профиль пути, напряжение сети, с учетом реальной кривой потребляемого из сети тока и реальных величин основного и дополнительного (от уклонов и подъемов) сопротивления движению.

Интегрированием кривой потребляемого из контактной сети тока было установлено, что абсолютный расход электроэнергии на тягу 6-вагонной «Невы» составил 18,398 кВтч (удельный расход 66,27 Втч/ткм). Для смоделированной кривой движения «Невы» при аналогичных условиях, включая профиль пути и потребляемую мощность, был получен абсолютный расход электроэнергии на тягу в размере 19,025 кВтч (удельный расход 68,53 Втч/ткм). Разница между измеренным и расчетным значениями составила 3,4 %. Такими же, достаточно высокими по точности совпадениями, оказались (по испытаниям и по модели) скорости начала выбега, скорости начала торможения и эффективные (греющие) токи тяговых двигателей.

На рис. 6 показаны кривые движения метропоезда «НеВа» в порожнем и груженом режимах при токе сети 4000 А в каждом режиме.

В табл. 3 представлены параметры и характеристики работы метропоезда «НеВа» на перегоне 1700 м со скоростью сообще-

Таблица 3

Параметры и характеристики работы метропоезда «НеВа» и результаты испытаний АД в стандартном режиме S1

	$t_{80}$ , с	$V_{в}$ , км/ч	$V_{нт}$ , км/ч	A, кВтч	$a_{уд.}$ Втч/ткм	$V_c$ , км/ч	$n_{ср}$ , об/мин	$I_{эф}$ , А	$P_{\infty}$ , кВт	$\tau$ , °С
Испытания порожнего	25,5	80,56	63,91	18,398	66,27	48	1800	131,4	100	120
Модель порожнего	25,5	80,9	62,9	19,025	68,53	48	1800	132,5	101	121
Модель груженого 8 ч/м <sup>2</sup> , 4000А	39,2	81	67,4	32,695	69,6	48	1800	187	143	170
Испытания груженого 8 ч/м <sup>2</sup> , 5400А	29	79,74	70,84	27,333	59,33	48	1800	180	137	164
Испытания тягового двигателя, режим S1							2072	233	167	183

Примечание.  $t_{80}$  – время разгона метропоезда до 80 км/ч;  $V_{в}$  – скорость начала выбега, км/ч;  $V_{нт}$  – скорость начала торможения, км/ч; A – абсолютный расход электроэнергии на тягу, кВтч;  $a_{уд.}$  – удельный расход электроэнергии на тягу, Втч/ткм;  $V_c$  – скорость сообщения на перегоне 1700 м, км/ч;  $n_{ср}$  – среднее число оборотов тягового двигателя за цикл движения, об/мин;  $I_{эф}$  – эффективный (среднеквадратичный) греющий ток, А;  $P_{\infty}$  – длительная мощность тягового двигателя в испытательном режиме, кВт;  $\tau$  – максимальная температура обмотки статора тягового двигателя, °С.

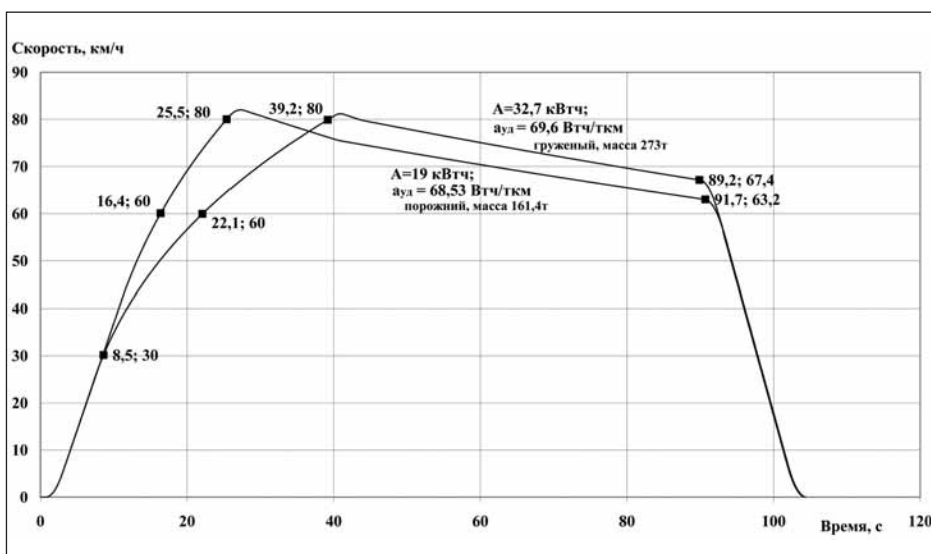
Таблица 4

Тягово-энергетические показатели метропоезда «НеВа»

Показатели	Порожний режим	Груженный режим(8 ч/м <sup>2</sup> )
Масса метропоезда, т	161,4	273
Статическая нагрузка брутто от колесной пары на рельсы, т	7,35	11,95
Максимальный коэффициент тяги	0,196	0,197
Максим. коэфф. тормозного усилия	0,233	0,235
Коэффициент сцепной массы*	0,729	0,7
Максимальное ускорение м /с <sup>2</sup>	1,26	1,26
Максимальное замедление м /с <sup>2</sup>	1,5	1,5
Времена разгона до скоростей, с:		
30 км/ч	8,5	8,6
60	16,4	22,1
80	25,5	39,2
Тормозной путь на площадке со скоростей, не более, м:		
60 км/ч	113	115
80	195	200
90	240	250
Максимальный ток сети, А	4000	4000
Максимальный ток моторного вагона, А	1000	1000
Абсолютн. расход электроэнергии на тягу при скор. сообщ. 48 км/ч на 1700 м, кВтч	18,4	32,7
Уд. расход электроэнергии на тягу при скорости сообщ. 48 км/ч на 1700 м, Втч/ткм	66,3	69,6
Эффективный ток тягового двигателя, А	131,4	187
Максим. температура обмоток статора при темпер. в тоннеле 23 °С, не более, °С	120	170

Примечание.

\*отношение массы состава на моторных осях к его полной массе.

Рис. 6. Сравнение работы метропоезда «НеВа» в порожнем и груженом режимах скорость сообщения 48 км/ч, ток сети 4000 А, ускорение 1,26 м/с<sup>2</sup>

ния 48 км/ч в порожнем и груженом режиме (8 ч/м<sup>2</sup>) при токах сети 4000 А и 5400 А, а также результаты испытаний АД в стандартном режиме S1.

Из анализа данных, представленных на рис. 6 и в табл. 3, следует, что при росте массы метропоезда «НеВа» на 69 % (от порожнего состава до максимально загруженного состава) абсолютный расход электроэнергии на тягу возрастает на 72 %. Удельный расход электроэнергии на тягу метропоезда «НеВа» (в диапазоне от порожнего до максимально загруженного состава) возрастает на 1,5 %.

Тягово-энергетические показатели метропоезда «НеВа» с АПП составности Г-П-П-П-П-Г из вагонов модели 81-556/557/558 при работе на стандартном перегоне 1700 м со

скоростью сообщения 48 км/ч при 25-секундных остановках представлены в табл. 4.

По результатам тягово-энергетических и тепловых испытаний порожнего состава и их пересчета на груженный режим работы (с нагрузкой 8 ч/м<sup>2</sup>) можно сделать следующие выводы.

Метропоезд «НеВа» составности Г+П+П+П+П+Г с нагрузкой 8 ч/м<sup>2</sup> при максимальном токе сети 4000 А (мощность 3000 кВт):

- удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 50850-96 (п. 4.1) по времени разгона до скорости 80 км/ч: «Время разгона до скорости 80 км/ч, не более 40 с»;

- обеспечивает максимальное ускорение 1,26 м/с<sup>2</sup> и удовлетворяет требованиям государственного контракта по максимальному

ускорению на горизонтальном участке пути – «не менее 1,2 м/с<sup>2</sup>»;

- удовлетворяет требованиям государственного контракта по максимальному замедлению и тормозным путям;

- при работе на перегоне 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) удельный расход электроэнергии на тягу метропоезда составит 69,6 Втч/ткм;

- при работе на перегоне 1700 м со скоростью сообщения 48 км/ч (остановка 25 с) эффективный ток АД составит 187 А, что эквивалентно тепломощности двигателя 143 кВт (длительная мощность асинхронного двигателя 167 кВт);

- максимальная температура обмоток асинхронных тяговых двигателей в режиме работы метропоезда «НеВа» со скоростью сообщения 48 км/ч на перегоне 1700 м составит, не более:

в порожнем режиме – 120 °С (при температуре в тоннеле 23 °С),

в груженом режиме – 170 °С (при температуре в тоннеле 23 °С),

в груженом режиме – 187 °С (при окружающей темп. 40 °С, по ГОСТ) и будет соответствовать изоляции класса 200.

**Вывод:** в порожнем и груженом режимах работы метропоезд «НеВа» при максимальном токе сети 4000 А (для существующего энергоснабжения) и при токе сети 5400 А (на перспективу, для модернизированной системы энергоснабжения) удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 50850-96, ГОСТ 2582 и государственного контракта по безопасности эксплуатации, максимальным ускорениям, замедлениям и нагреву тягового электрооборудования. В настоящий момент «НеВа» – самый энергоэффективный и конкурентоспособный отечественный метропоезд нового поколения.

# С нами строить легко!

- Проектирование и строительство подземных частей технически сложных и уникальных объектов (подземные автостоянки, транспортные развязки, гидротехнические сооружения)
- Ограждение котлованов
- Закрепление грунтов
- Усиление фундаментов
- Выполнение работ на памятниках истории и архитектуры



реклама

г. Пермь. ул. Кронштадтская, 35  
тел./факс (342) 236-90-70  
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11  
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82  
тел. в Красноярске (391) 208-17-15  
тел. в Казани (843) 296-66-61

тел. в Москве (495) 643-78-54  
тел. в Самаре (846) 922-56-36  
тел. в Санкт-Петербурге (812) 923-48-15  
тел. в Тюмени (3452) 74-49-75  
тел. в Уфе (917) 378-07-48  
тел. в Челябинске (351) 235-97-98

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

# РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДИЦИОНЕРОВ ГРУНТА ДЛЯ ТПМК С ГРУНТОПРИГРУЗОМ

**Л. М. Капралова**, начальник лаборатории ООО «смазка.ру», к. т. н.

**Э. Д. Пенджиев**, директор ООО «смазка.ру»

**Е. И. Groшовкин**, инженер-химик ООО «смазка.ру»

**Л. С. Машина**, химик-технолог ООО «смазка.ру»

**А. Л. Новиченко**, инженер ООО «смазка.ру»

**С. В. Самарский**, гл. механик СМУ-161, ОАО «Трансинжстрой»

Применение кондиционеров грунта (КГ) является неотъемлемой частью технологического процесса на протяжении всей проходки тоннелепроходческого комплекса (ТПМК).

Несмотря на то, что ТПМК с грунтопригрузом и технология строительства тоннелей с использованием данных комплексов изучены достаточно хорошо, проблема кондиционирования разрабатываемого грунта по-прежнему остается актуальной [1, 2, 3]. И это вполне объяснимо – от кондиционеров грунта зависят важнейшие параметры: скорость проходки, крутящий момент ротора, износостойкость режущих частей. Ведущую роль КГ играют и в формировании пластичности грунта, его адгезионных и транспортировочных свойств. Правильно подобранный КГ и оптимальные условия его использования являются одним из определяющих факторов успешной работы ТПМК.

Поэтому при лабораторных исследованиях КГ большое влияние уделяется созданию условий, которые были бы максимально приближены к реальным. Одно из них – выбор типа пеногенератора, позволяющего получить пену, близкую по свойствам к пене, генерируемой в условиях работы ТПМК.

В лабораториях используют два типа пеногенераторов: механические и воздушно-механические. Принципиальное их отличие состоит в том, что в пеногенераторах первого типа для пенообразования используется только механическое воздействие. К ним можно отнести, например, систему «струя в стакане» [4]. В данном случае пенообразование происходит за счет механического воздействия струи воды на раствор в стакане (цилиндре, ведре, бочке и т. д.). Нетрудно понять, что полученная данным методом пена кардинально отличается от пены, получаемой в процессе работы тоннелепроходческого комплекса. Так же к данному типу пеногенераторов можно отнести и способ получения пены в миксере – пенообразование происходит из-за интенсивного механического воздействия вращающихся лопастей [5].

В пеногенераторах второго, воздушно-механического типа, помимо механического воздействия используется нагнетающая способность сжатого воздуха. Очевидно, что пеногенераторы второго типа в большей степени соответствуют условиям получения пены в ТПМК. Однако и в случае воздушно-механических пеногенераторов есть свои особенности, которые показаны ниже при срав-

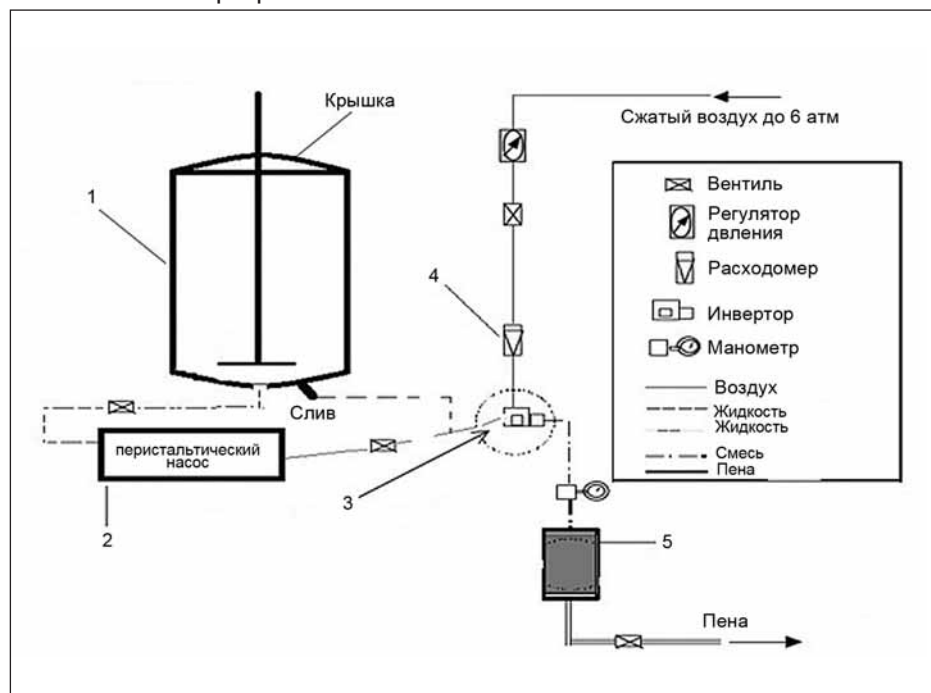
нении двух видов воздушно-механических устройств. К устройствам данного типа можно отнести прибор, описываемый в [6] и используемый, в основном, для исследования пен, применяющихся в пожаротушении. Стандартизированного пеногенератора для исследования КГ, используемых в тоннелестроении, не существует, поэтому разработчикам КГ приходится применять пеногенераторы собственного производства.

После изучения технических описаний устройства пеногенераторов ведущих производителей тоннелепроходческих машин (Herrenknecht, NFM, Robbins, Lovat) и разработок [7] силами компании ООО «смазка.ру» был создан лабораторный стенд (рис. 1), максимально приближенный к пеногенерирующим устройствам, используемым на ТПМК, который позволяет контролировать и задавать расход воздуха и жидкой фазы. На



Рис. 1. Пеногенерирующий стенд

Рис. 2. Схема пеногенератора





стенде установлены: перистальтический насос (Heidolph), позволяющий дозировать пенообразующий раствор в интервале 90–2250 мл/мин (точность 0,1 мл); расходомер-дозатор воздуха (SMC), обеспечивающий дозировку расхода воздуха в интервале 0,1–25,0 л/мин (точность 0,1 л). Пеногенерирующий элемент выполнен аналогично элементу, установленному на ТПМК и представляет собой металлический цилиндр с наполнителем (гайка диаметром 3 мм) и набором металлических сеток (размер ячейки 0,5×0,5 мм). Полная схема стенда представлена на рис. 2.

Принцип работы пеногенератора заключается в следующем:

- из бункера с мешалкой (1) при помощи насоса (2) через систему трубок подается пенообразующий раствор (контролируемая подача в мл/мин);
- в инвенторе (3) происходит смешение воздуха (давление 6 атм) и пенообразующего раствора. Расход воздуха контролируется (л/мин) при помощи воздушного расходомера (4);
- далее смесь воздуха и пенообразователя проходит через пеногенерирующий элемент (5).

В процессе работы ТПМК ключевыми свойствами пены являются кратность и стабильность.

Кратность пены (FER) – это отношение объема пены к объему жидкого раствора, из которого она была образована. Кратность пены определяет ее структуру.

$$FER = V_f / V_l \quad (1)$$

FER – величина непостоянная и зависит от ряда факторов:

- концентрации пенного реагента (с увеличением концентрации пенного реагента кратность пены возрастает, при этом существует некая критическая концентрация, при превышении которой кратность пены не увеличивается, либо падает – начинается процесс мицеллообразования);
- способа получения пены (конструкции пеногенератора);
- соотношения воздух/пенообразующий раствор.

Стабильность пены – это способность пены определенное время сохранять свою первоначальную структуру. Стабильность определяется прочностью поверхностных пленок и зависит от структурно-механических свойств адсорбционно-сольватных слоев и расклинивающего давления. Обычно за меру стабильности пен принимается время жизни ( $T_{50}$ ), за которое из пены истекает 50 % жидкости, пошедшей на ее образование.

Измерение  $T_{50}$  в лаборатории имеет весьма условное значение. Время жизни пены, полученной на изготовленном пеногенераторе, исчисляется десятками часов, т. к. условия среды существования пены в лаборатории кардинально отличаются от условий существования пены в забое.

В ходе лабораторных исследований были получены данные на двух различных воздушно-механических пеногенераторах: по ГОСТ

Р 50588-2012 и пеногенераторе, изготовленном ООО «Смазка.ру». В качестве эталона служил пеногенератор, установленный на ТПМК Herrenknecht (ОАО «ТрансИнжстрой»). На рис. 3 представлены данные, полученные для КГ КРП-1 на двух разных пеногенераторах и промышленном пеногенераторе (ТПМК Herrenknecht S-747; испытания велись при проходке левого перегонного тоннеля от ст. метро «Ломоносовская» до ст. метро «Парк Победы»).

На рисунке представлены сравнительные данные FER для разных пеногенераторов. Данные, полученные на лабораторном пеногенераторе ООО «Смазка.ру», хорошо коррелируют с данными, которые получены на пеногенераторе ТПМК Herrenknecht.

Это послужило основанием для проведения на данном стенде сравнительных испытаний пенных реагентов КРП-2 и Condat CLB-F4.

На рис. 4 представлены зависимости кратности пен (FER) от концентрации пенообразующего раствора для задаваемого коэффици-

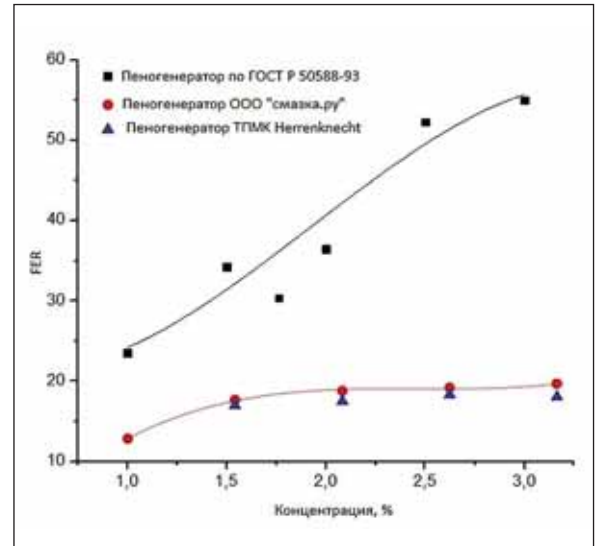


Рис. 3. Сравнение зависимости FER от концентрации КГ КРП-1

циента (FER\*). Кратность пены определялась путем нахождения отношения объема полученной пены  $V_f$  к объему пенообразующего раствора  $V_l$  – смесь воды и кондиционера грунта заданной концентрации, из которого была получена пена.

Объем пены был фиксированным и всегда составлял точно вычисленный объем запол-

Рис. 4. Зависимость кратности пен (FER) от концентрации CLB-F4 (а) и от концентрации КРП-2 (б) при различных FER\*

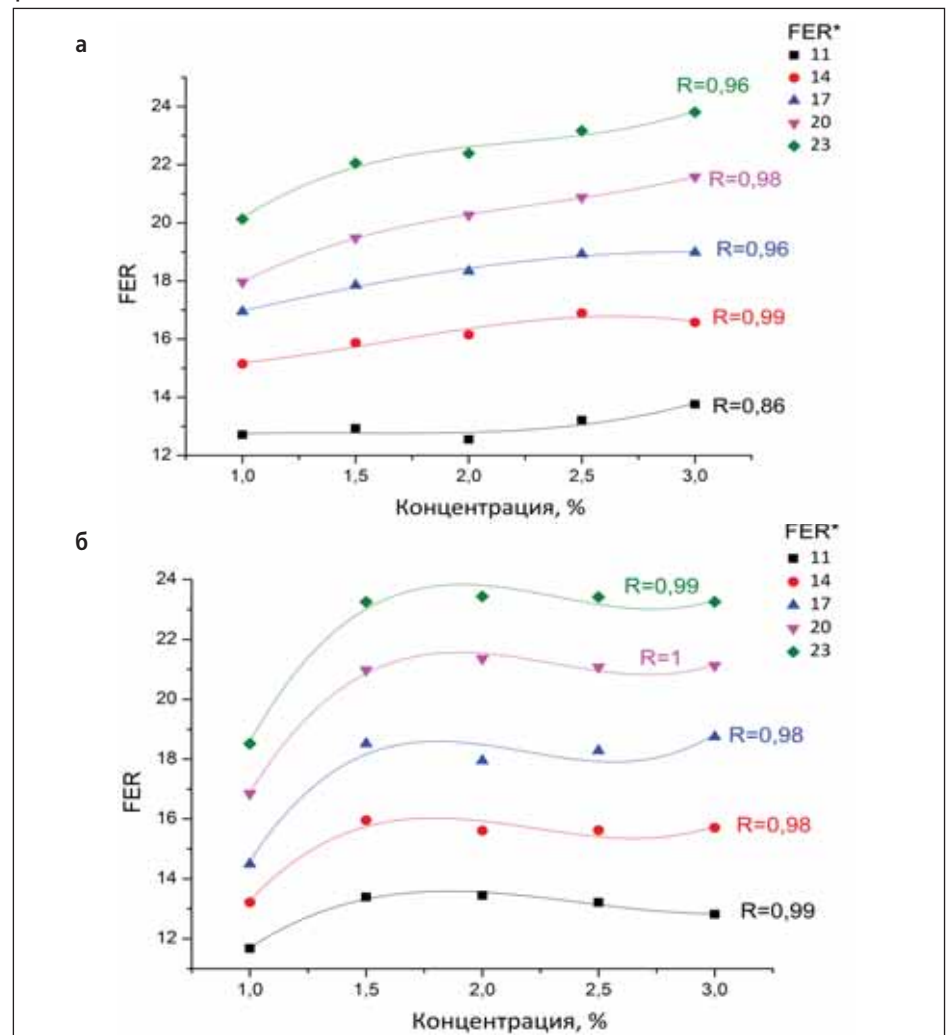




Рис. 5. Стенд для определения смазывающих свойств пенных реагентов

няемого сосуда. Объем пенообразующего раствора, пошедшего на образование заданного объема пены, измерялся жидкостным расходомером.

Из представленных зависимостей (полученные данные обрабатывались путем аппроксимации полиномом третьей степени и имеют хороший коэффициент корреляции) видно, что характер кривых очень близок, однако в случае КРП-2 предел степени расширения наступает при 1,5–2 %, а в случае CLB-F4 при 2–2,5 %, что говорит о более быстром снижении поверхностного натяже-

ния в случае раствора КРП-2. Как известно [8], данный факт положительно сказывается на пенообразовании.

Многочисленные сравнительные испытания этих КГ при проходке подтверждают полученные данные, т. к. для них расходы и скорость проходки на одних и тех же грунтах аналогичны.

Исходя из полученных данных для пенного реагента КРП-2, можно рекомендовать концентрации 1,5–2 % в качестве рабочего диапазона.

Однако помимо кратности и стабильности, получаемые пены характеризуются еще одним крайне важным свойством – смазывающей способностью, которая напрямую влияет на такие критические параметры проходки, как скорость и давление на ротор тоннелепроходческого комплекса, а это, в свою очередь, определяет износ режущего инструмента. Поэтому, чем большей смазывающей способностью обладает КГ, тем больше преимущества можно ожидать при его применении.

Для изучения трибологических характеристик производимых КГ специалисты компании ООО «смазка.ру» изготовили стенд (рис. 5), позволяющий в некоторой степени моделировать работу режущего инструмента тоннелепроходческого комплекса.

Принцип работы стенда заключается в том, что привод вращает латунный диск, который с усилием проходит сквозь стакан с кондиционированным песком. Величина износа латунного диска определяет-

ся путем вычисления изменения массы последнего на аналитических весах (погрешность 0,0001 г) и характеризует смазывающие свойства пен. Таким образом, обрабатывая песок различными кондиционерами грунта, можно провести сравнительные испытания их смазывающей способности.

На этом стенде был проведен сравнительный анализ продуктов Condat CLB-F4, КРП-2 и КРП-2\* – одного из перспективных составов (производится с декабря 2013 г.), который был разработан в процессе исследования влияния на трибологические характеристики ряда компонентов. Результаты представлены на рис. 6.

На диаграмме отчетливо видна разница в смазывающих способностях для всех трех испытанных образцов. Необходимо отметить, что существенную разницу в этом показателе между КРП-2 и CLB-F4 удалось компенсировать путем ввода специальных компонентов в КРП-2\*.

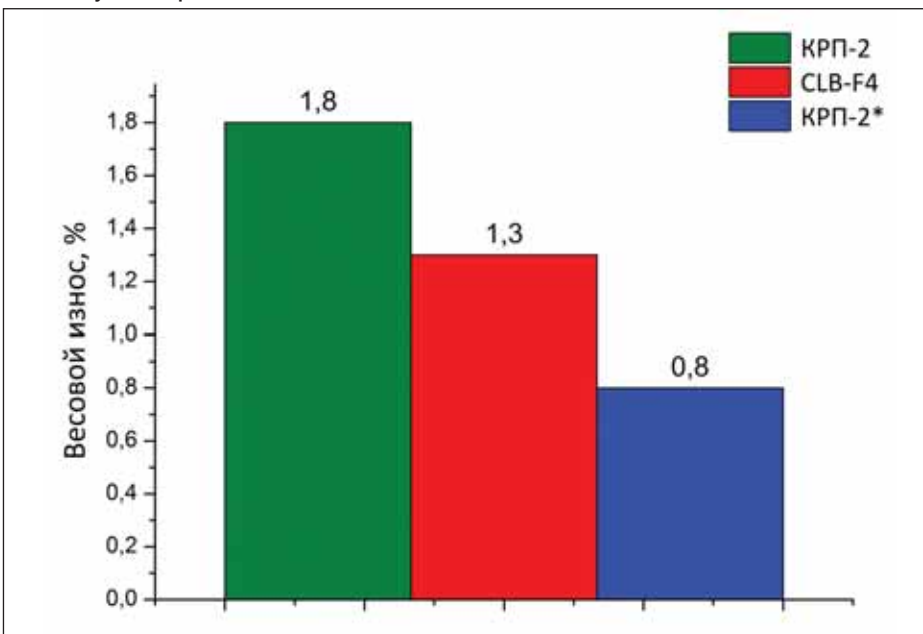
Таким образом, в компании ООО «смазка.ру» создано оборудование и отработаны методики, позволяющие оценивать такие фундаментальные свойства пенных реагентов, как FER и смазывающие свойства.

Безусловно, что такой подход к созданию и исследованию кондиционеров грунта помогает создавать отечественные конкурентоспособные продукты.

### Литература

1. Peila D., Picchio A., Chierigato A. Earth pressure balance tunnelling in rock masses: Laboratory feasibility study of the conditioning process: *Tunnelling and Underground Space Technology* 35, 2013, 55–66.
2. Vinai R., Oggeri C., Peila D. Soil conditioning of sand for EPB applications: A laboratory research: *Tunnelling and Underground Space Technology* 23, 2008, 308–317.
3. S. Quebaud, M. Siba'i and J.-P. Henry. Use of Chemical Foam for Improvements in Drilling by Earth-Pressure Balanced Shields in Granular Soils: *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 13, Number 2, 1998, 173–180.
4. Федунец Б. И., Мазеин С. В., Потапов М. А. Обоснование применения по строительно-технологическим воздействиям компенсации в щитовом забое: *Метро и Тоннели* № 5, 2012, 18–21.
5. EFNARC, *Specification and Guidelines for the use of specialist products for Mechanised Tunnelling (TBM)*, 2005.
6. ГОСТ Р 50588-2012. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний. М., 2012.
7. Psomas S. Properties of foam/sand mixtures for tunneling applications: A thesis submitted for the degree of Master of Science to the Department of Engineering Science, Michaelmas, 2001.
8. Тихомиров В. К., Пены. Теория и практика их получения и разрушения: М., «Химия», 1975, 25–26.

Рис. 6. Результаты трибологических испытаний





СПЕЦИАЛЬНАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА



(495) 226-18-37

(342) 219-61-56

info@cct-drill.ru

[WWW.CCT-DRILL.RU](http://WWW.CCT-DRILL.RU)



**FIGARO MASCHINE 400T**

БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ресурс

## ЗАКЛАДНЫЕ, СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ И МОНТАЖНЫЕ ДЕТАЛИ

для тоннельной обделки из полимерных материалов, изготавливаемые в рамках программы импортозамещения.

Детали, работающие в условиях заданных нагрузок, испытаны в ОАО «ЦНИИС».

Сроки поставок 7-10 дней.

Оптимальное соотношение "цена-качество".



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

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

## НАСОСЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

**Агрегаты одновинтовые серий АПНВ и ОНВ  
производительностью от 0,1 до 100 м<sup>3</sup>/ч**



**РАЗРАБАТЫВАЕМ  
ПРОИЗВОДИМ  
ОБСЛУЖИВАЕМ**



**ремонтируем  
импортные винтовые насосы**

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

## 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