

Учредители журнала

Тоннельная ассоциация России
Московский метрополитен
Московский метрострой
Мосинжстрой
Трансинжстрой

Редакционный совет

Председатель совета

А. Н. Левченко

Заместитель председателя

И. С. Беседин

Члены совета:

В. П. Абрамчук, В. Н. Александров,
В. А. Гарюгин, В. В. Гридасов,
С. Г. Елгаев, А. М. Земельман,
Б. А. Картозия, В. Г. Лернер,
М. М. Рахимов, Г. И. Рязанцев,
Г. Я. Штерн

Редакционная коллегия:

С. А. Алпатов, Н. С. Булычев,
О. В. Егоров, А. А. Гончаров,
А. И. Долгов, А. В. Ершов,
М. Г. Зерцалов, Н. И. Кулагин,
Е. Н. Курбачкий, Г. Н. Матюхин,
В. Е. Меркин, А. Ю. Педчик,
Г. Н. Полянкин, П. В. Пуголовков,
А. Ю. Старков, Б. И. Федунец,
Ш. К. Эфендиев

Тоннельная ассоциация России

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

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

**Внимание! Изменились адрес
и телефон редакции:**

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», 2012

№ 5 2012

Панорама

2

Юбиляры отрасли

Herrenknecht – 25 лет в России

4

МУП «Челябметротрансстрой» – 20 лет

8

И. А. Усманов

Горные тоннели

Строительство Юкспорского железнодорожного тоннеля

12

В. П. Абрамчук, А. Ю. Педчик,

В. В. Костенко, Ф. Г. Меденков

Освещение тоннелей

Порталы и проблемы освещения

входных участков транспортных тоннелей

16

В. Р. Гоппе

Щитовая проходка

Обоснование применения

по строительно-технологическим воздействиям
пеногрунтовой компенсации в щитовом забое

18

Б. И. Федунец, С. В. Мазеин, М. А. Потапов

Гидроизоляция

Повышение эффективности инъекционных работ
при ремонте железобетонных конструкций

22

С. Ю. Шибасев

Специальные способы работ

Влияние технологических параметров

струйной цементации на прочность

и диаметр грунтоцементных колонн

24

А. Г. Малинин, И. Л. Гладков, А. А. Жемчугов

Метрополитены

Электропривод с асинхронным двигателем
с совмещенными обмотками возбуждения

26

В. Н. Дейнего

Опыт настройки вентиляторов ВОВД-24

на ст. «Сибирская» Новосибирского метрополитена

30

А. М. Красюк, И. В. Лугин, А. Н. Чигишев

Тоннельная обделка

Перспективы стандартизации дисперсного
армирования бетона в тоннелестроении

34

Г. И. Будницкий, С. В. Мазеин

Зарубежный опыт

Метрополитены Испании: особенности
и технические преимущества

36

Г. В. Линкишкин, М. Ю. Губин, Д. А. Бойцов

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Проходка эскалаторного
тоннеля к станции метро
«Обводный канал»,
Санкт-Петербург

ЗАСЕДАНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО КОМИТЕТА МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ В МОСКВЕ

Тоннельная ассоциация России является членом Международной тоннельной ассоциации с 2000 г. и заслужила высокую репутацию в Международном тоннельном сообществе. Специалисты Тоннельной ассоциации России регулярно принимают участие в тоннельных конгрессах и других мероприятиях, проводимых под эгидой Международной тоннельной ассоциации.

В свою очередь, зарубежные тоннельщики с большим интересом участвуют в различных Международных выставках, конференциях и симпозиумах, проводимых в Москве и других регионах России. Подтверждением этого является решение Международной тоннельной ассоциации провести 7–9 сентября 2012 г. заседание Исполнительного комитета Международной тоннельной ассоциации в Москве.

Учитывая значимость этого события и международный престиж, Тоннельная ассоциация России провела ряд организационно-технических мероприятий в целях успешного проведения этого важного заседания.

Среди прибывших в Москву гостей – президент Международной тоннельной ассоциации Ин-Мо-Ли (In-Mo-Lee), Корея, исполнительный директор Оли-



Выступление председателя правления ТАР А. Н. Левченко

вер Вьон (Oliver Vion), Франция, хорошо известный российским тоннельщикам Рик Ловат (Rick Lovat), Канада, а также ряд других членов Исполнительного комитета из США, Сингапура, Венгрии и др.

По просьбе руководства Исполкома 7 сентября Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России организовала экскурсию в Московский Кремль с посещением Оружейной палаты.

8 сентября в гостинице «Сретенская» началось заседание Исполкома.

В начале заседания к гостям с приветственным словом обратились: от правительства Моск-

вы – Первый заместитель руководителя Департамента Градостроительной политики города Москвы О. В. Рындин, от Тоннельной ассоциации России – председатель правления А. Н. Левченко, который также зачитал приветствие от Государственной думы РФ и правительства Московской области.

Вечером 8 сентября члены Исполкома, а также ряд руководителей московских тоннелестроительных организаций были приглашены на вечернюю прогулку по Москве-реке, в ходе которой в дружеской обстановке обсуждались вопросы сотрудничества Международной тоннельной ассоциации с Тоннельной

ассоциацией России и ведущими компаниями Москвы, Санкт-Петербурга, Казани и других городов в области строительства тоннелей и освоения подземного пространства.

Обсуждались вопросы участия российских специалистов в Международном тоннельном конгрессе в Женеве.

Члены Исполнительного комитета Международной тоннельной ассоциации выразили благодарность за радушный прием в Москве, пожелали российским метро- и тоннелестроителям больших трудовых побед и выразили надежду, что наше сотрудничество будет развиваться в позитивном русле.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ МОСКОВСКОГО МЕТРО

Департамент строительства города Москвы продолжает уделять повышенное внимание требованиям безопасности при строительстве объектов. Для эффективного контроля выполнения подрядными организациями требований безопасности строительства была создана Комплексная комиссия по вопросам безопасности строительства, культуры производства и охраны труда Департамента строительства.

18 сентября 2012 г. Департамент провел семинар «Обеспечение безопасности строительства линий Московского метрополитена», в котором принял участие заместитель руководителя Департамента по строительству метро и транспортной инфраструктуры Швецов Влади-

мир Александрович. Мероприятие проходило на объекте строительства – станции «Ходынское поле» Третьего пересадочного контура.

На семинаре рассматривалось текущее состояние дел в сфере промышленной безопасности и охране труда на объектах строительства метрополитена столицы.

В Москве реализуется один из самых масштабных в мире проектов по развитию метрополитена. В результате до 2020 г. протяженность его линий составит 451 км, а количество станций – 252. Важнейшей задачей в условиях столь интенсивного строительства является сохранение жизни и здоровья работников, в строгом соответствии с государственными требованиями в области охраны труда.

Комплексная комиссия по вопросам безопасности строительства, культуры производства и охраны труда регулярно проводит проверки условий труда в подрядных организациях непосредственно на рабочих местах.

За восемь месяцев проведено 138 проверок соблюдения требований безопасности труда и культуры производства на объектах метростроения. Наиболее массовые нарушения – это:

- отсутствие актов готовности строительных площадок к безопасному производству основных строительно-монтажных работ;
- поврежденные ограждения строительных площадок;
- отсутствие пунктов очистки колес;

• неприменение средств индивидуальной защиты.

Но в целом наметилась положительная тенденция, количество нарушений на строительных объектах с начала года снизилось.

Улучшение ситуации в области охраны труда и культуры производства, в том числе, происходит в результате внедряемой системы наказаний за нарушения безопасности. К организациям, не в полной мере выполняющим требование Департамента по обеспечению безопасности строительства, применяются штрафные санкции. При систематических нарушениях с такими организациями могут быть расторгнуты контракты.

Пресс-служба Департамента строительства города Москвы

РЕКЛАМА

HERRENKNECHT – 25 ЛЕТ В РОССИИ



Мартин Херренкнехт,
глава и основатель фирмы «Херренкнехт АГ»

«Мне бы хотелось отметить, что Россия – очень интересный рынок. Я горд тем, что к компании Herrenknecht обращаются для реализации самых крупных и сложных проектов в области строительства тоннелей. С удовольствием замечу, что руководители российских предприятий очень восприимчивы к инновациям, что позволяет нам совместно открывать новые рубежи в тоннелестроении. Благодарю всех за сотрудничество».

История компании Herrenknecht началась в 1977 г. Ее основателем стал доктор-инженер Мартин Херренкнехт, который сделал свою компанию ведущим в мире производителем оборудования для механизированной проходки тоннелей, строительство которых почти повсеместно не обходится без его машин.

В этом году исполняется 25 лет с момента прихода компании Herrenknecht в Россию. Впервые сотрудничество с российскими специалистами началось в 1987 г., когда для строительства сложнейшего участка Люблинской линии Московского метрополитена был впервые в СССР заказан импортный тоннелепроходческий комплекс. «Нужно было пройти два уровня грунтовых вод. У России были хорошие инженеры, но не было оборудования», – говорит г-н Херренкнехт. Руководство Минтрансстроя СССР выбрало Herrenknecht, поскольку на тот момент это была единственная компания, выпускающая технику, способную осуществить проходку тоннеля такой сложности.

Гораздо больший диаметр щита (14,2 м) понадобился для другого крупного проекта в Москве – Лефортовского тоннеля, построенного в 2003 г. Это был новый тип городских автодорожных магистральных тоннелей большой протяженности, пересекающих целые городские районы без нарушения сложившейся среды обитания, с сохранением исторических зданий и инженерных сооружений. «Мы в эту технику были влюблены, – рассказывает Георгий Синицкий, бывший исполнительный директор Тоннельной ассоциации России. – Это не просто тоннелепроходческая машина, а целый завод под землей длиной более 200 м. В

свое время мы его называли подземным космическим кораблем. Мы, российские тоннельщики, ничего подобного раньше не видели». Лефортовский тоннель и по сей день остается одним из самых длинных автомобильных тоннелей в Европе, построенным с



Выход щита диаметром 14,2 м в демонтажную камеру на строительстве Серебряноборских тоннелей

применением механизированного тоннелепроходческого комплекса.

В декабре 2007 г. в Москве завершилась реализация еще одного крупного проекта: были сданы в эксплуатацию Серебряноборские

Руководство Минтрансстроя СССР выбрало Herrenknecht как единственную на тот момент компанию, выпускающую технику, способную осуществить проходку тоннелей любой сложности.

транспортные тоннели, которые проходят под лесным массивом Серебряный Бор и жилым районом Крылатское. На участке Строгинской линии Московского метрополитена и тоннеля Краснопресненского проспекта были впервые сооружены «сдвоен-

ные» тоннели: в верхнем ярусе тоннеля – автомобильная дорога с тремя полосами движения автотранспорта, в нижнем – пути линии метро. Реализация данного проекта стала возможной благодаря применению техники Herrenknecht.

В Санкт-Петербурге неустойчивые грунты и плотная городская застройка предъявляют особые требования при создании подземной транспортной инфраструктуры, поэтому строительство эскалаторного тоннеля к станции метро «Обводный канал» потребовало инновационного подхода. На тот момент не существовало тоннелепро-



На проходке Лефортовского тоннеля глубокого заложения



Торжественная сбойка железнодорожного тоннеля № 5, г. Сочи

ходческих комплексов, способных работать в подобных условиях, и компания Herrenknecht бросила вызов этой проблеме. «Мы видим себя не просто машиностроительной компанией, нам интересно решать сложные и интересные задачи, поэтому их круг для нас неограничен», – говорит директор ООО «Херренкнехт Транспортные Тоннели Россия» г-н Йоханнис. Для реализации данного проекта был разработан уникальный проходческий комплекс, которому всего за два месяца удалось пройти 105 м под углом 30° к станции метро, расположенной на глубине 65 м. Работа по проходке эскалаторного тоннеля стала первым проектом для инженеров

*Х. Йоханнис,
директор ООО «Херренкнехт Транспортные Тоннели Россия»*

«Мы видим себя не просто машиностроительной компанией, нам интересно решать сложные и интересные задачи, поэтому их круг для нас неограничен»

компании Herrenknecht, которые получили возможность по-новому решать подобные задачи. Успех на станции метро «Обводный канал» убедил городские власти продолжить работу на станции «Адмиралтейская». В результате станция, построенная еще в 1997 г., смогла принять первых пассажиров. Теперь это не только самая глубокая станция в Рос-

сии, но и одна из самых глубоких в мире. Длина наклонного тоннеля составляет более 120 м.

Порядка десяти тоннелепроходческих комплексов Herrenknecht планируется задействовать в программе расширения Московского метрополитена.

«Очень большое внимание мы уделяли проектам в Сочи, где с помощью наших машин были построены автомобильный и железнодорожный тоннели. Эта комбинированная авто-железнодорожная ветка обеспечит транспортную доступность объектов Красной Поляны», – продолжает г-н Йоханнис. Кроме того, техника компании Herrenknecht используется в модернизации инженерной инфраструктуры курорта, например, для строительства глубоководного выпуска обновленных бзугинских очистных сооружений. Для осуществления первого в России выхода в море длиной 1411 м микротоннелепроходчес-



кий комплекс (так называемый «микрошит») AVN2000AB был оснащен специальным модулем, который позволяет герметизировать машину от построенного тоннеля и произвести ее демонтаж уже на поверхности.

Впервые в России микротоннелепроходческое оборудование появилось в 1994 г. Тогда в Москву для бестраншейной прокладки

Прокладка газопровода под Сайменским каналом (первый тоннель), Ленинградская область



канализационного коллектора по ул. Тайнинской в районе Медведково был поставлен первый микрощит AVN400. Длина тоннеля составляла около 300 м. Это была первая в России бестраншейная проходка коммунального тоннеля. Данный проект дал возможность компании Herrenknecht в реальных условиях показать, что представляла собой прогрессивная технология микротоннелирования.

Одним из интересных объектов, осуществленных по технологии микротоннелирования с использованием оборудования компании, явилось строительство участка нефтепровода Балтийской трубопроводной системы (БТС-1) под рекой Невой в 2001 г. Проходка велась в 40 км от Санкт-Петербурга с использованием установки AVND2000 в течение трех месяцев. Отличительная особенность данного проекта заключалась в том, что это был первый в России трубопровод диаметром 2,5 м и протяженностью 774 м, построенный по технологии микротоннелирования в сжатые сроки и в сложнейших геологических условиях. Спустя два года была успешно завершена прокладка второй очереди Балтийской трубопроводной системы (БТС-2). Средние скорости проходки достигали 21 м в сутки, 778 м тоннеля было пройдено за 40 календарных дней.

Техника Herrenknecht была задействована и в строительстве газопровода «Северный поток» на участке Грязовец – Выборг. Под Сайменским каналом в Выборгском районе Ленинградской области был проложен тоннель длиной 250 м и глубиной залегания 20 м. Проведенные геофизические исследования показали, что первая половина предполагаемого тоннеля находилась в скале крепостью свыше 300 МПа, а вторая – в мягкой текучепластичной глине с включением валунов. В связи с этим конструкция режущего органа проходческого комплекса AVND2000 была перепроектирована для разработки различного по плотности грунта. В сентябре 2012 г. было успешно завершено строительство второго тоннеля. Это были первые в России тоннели такого диаметра, успешно пройденные в скале с помощью машины Herrenknecht, которая справилась с этой сложной задачей.

Оборудование компании применяется сегодня не только для развития транспортной и инженерной инфраструктуры городов, но и для прокладки нефте- и газопроводов, строительства подходных участков новых месторождений полезных ископаемых.

В рамках подготовки города Владивостока к саммиту АТЭС-2012 при строительстве участка газопровода под дном пролива Босфор Восточный на остров Русский использовалась установка горизонтального направленного бурения компании Herrenknecht НК250Т. Этот подводный стыковочный переход является беспрецедентным не только по длине, но и по совокупности других параметров. Его протяженность по основной нитке составляет 2857 м, по резервной – 2773 м.



Строительство шахтного ствола для водоотведения, Санкт-Петербург



Прокладка газопровода под дном пролива Босфор Восточный на остров Русский

Глубина залегания трубопровода – 30 м ниже самой глубокой точки дна. Диаметр защитного футляра – 426 мм, диаметр рабочего трубопровода – 273 мм. Перепад высот со стороны материка от точки входа до нижней точки скважины – 140 м, а со стороны острова Русский – 100 м. Аналогов данному объекту на сегодняшний день в мире нет. Впервые стыковочный переход почти трехкилометровой длины выполнялся в грунтах сопоставимых по прочности с металлом.

«Вышеперечисленные проекты, как и многие другие, свидетельствуют о доверии к технике компании Herrenknecht и нашему умению находить инновационные технические решения, – подводит итог г-н Йоханнис. – Мы и дальше планируем способствовать развитию бестраншейных методов строительства в России и совместно с нашими партнерами готовы реализовывать самые сложные проекты в области тоннелестроения».



МУП «ЧЕЛЯБМЕТРОТРАНССТРОЙ» – 20 ЛЕТ



И. А. Усманов,
генеральный директор МУП «Челябметротрансстрой»

Челябинск – один из крупнейших городов России, центр металлургии и машиностроения Южного Урала. Город образовался на стыке горного массива Уральских гор и Западно-Сибирской низменности, на пересечении исторически сложившихся торговых путей из Европы в Азию. Своеобразие планировочной структуры и системы расселения привело к тому, что в Челябинске сформировались мощные пассажиропотоки широтной ориентации. Решение транспортной проблемы представляется в активизации работы по формированию системы скоростного пассажирского транспорта – метрополитена.

История создания нашего предприятия неразрывно связана с Челябинским метрополитеном. Для организации работ по проектированию и началу строительства в Управлении капитального строительства исполкома Городского совета народных депутатов в 1991 г. была создана служба спецсооружений.

В ходе разработки проектной документации началось расселение жителей поселка Луговой на Сибирском переезде для освобождения площадки под строительство электродепо и производственной базы, перекладки коммуникаций на трассе метро, сооружения подходов к путепроводу через железнодорожные пути станции Челябинск-Главный и его строительство. Летом 1992 г. в городе появились первые бригады проходчиков СМУ-680 Управления строительства № 30. 31 августа 1992 г. служба спецсооружений УКСа была преобразована в МП «Челябметротрансстрой», а позже в Муниципальное унитарное предприятие Управление строительства метрополитена и транспортных сооружений – МУП «Челябметротрансстрой», которое выполняет функции строительного контроля и технического надзора на строительстве искусственных транспортных, дорожных объектов и метрополитена г. Челябинска. За этим сугубо лаконичным и казенным предложением стоит труд нескольких десятков специалистов, координирующих

работу проектировщиков, подрядчиков и служб города, контролирующих качество процесса строительного производства.

Деятельность заказчика чрезвычайно многогранна: от сбора данных и технических условий к проекту до сдачи объекта в эксплуатацию. Также важно знание современной бюджетной политики, ценообразования, управленческой деятельности, нормативной базы по строительству и проектированию, требований инспекционных федеральных служб, выбор современных технологий и оборудования и, конечно, обеспечение требований безопасности перевозок пассажиров. Все эти знания направлены, прежде всего, на эффективное и рациональное использование бюджетных средств. С учетом всех вышеперечисленных требований и создавался коллектив предприятия, сегодня успешно решающий серьезные задачи организации строительства, финансирования, обеспечения стройки проектно-сметной документацией, комплектации необходимым оборудованием. За 20 лет состав коллектива менялся, тем не менее, стаж работы многих сотрудников составляет 15 лет. Без заинтересованного участия каждого члена коллектива в общем деле – строительстве метрополитена и искусственных транспортных и дорожных сооружений – невозможно было бы справиться с трудностями, успешно решать новые задачи. Определяющую роль здесь иг-

рают специалисты разных уровней. От их профессионализма, умения находить и принимать нужные решения, организовать работу своих коллег зависят не только производственные успехи, но и атмосфера в коллективе. Высокая квалификация и добросовестный многолетний труд работников предприятия были по достоинству оценены руководством области и города. Наши сотрудники имеют благодарности, почетные грамоты администрации города, правительства Челябинской области, Законодательного собрания Челябинской области. Их большой опыт и профессионализм способствуют успешному воплощению сложнейших социально-значимых проектов.

Строительство Челябинского метрополитена является приоритетным направлением деятельности предприятия, которая была определена программой «Комплексная схема развития всех видов пассажирского транспорта» (КТС), разработанной в 1974 г. московским институтом «Гипрокоммундор-транс» совместно с Челябинскгражданпроект по заказу Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР. После экспертизы и согласования схемы Госпланом СССР в 1976 г. КТС утверждена совместным приказом Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР и Министерства автомобильного транспорта РСФСР № 60/7 от 11.02.1977 г.

В 1980 г. строительство метрополитена в Челябинске было включено в Государственный план экономического и социального развития на 1981–1986 гг. В 1982 г. институтом «Метрогипротранс» была разработана «Схема развития и размещения метрополитенов на период до 2000 г.». Челябинск вошел в число 22 городов страны, в которых было запланировано строительство метро. Из трех линий была определена в качестве первоочередной линия ЧТЗ – Северо-Запад с девятью станциями: «Тракторозаводская», «Комсомольская площадь», «Проспект Ленина», «Площадь Революции», «Торговый центр», «Проспект Победы», «Курчатовская», «Молодежная» и «Северо-Западная». Проектирование Челябинского метрополитена перепоручили институту «Ленметрогипротранс». Был образован Челябинский комплексный отдел для координации проектных работ – с 1994 г. институт «Челябинскметротранспроект».

Инженерно-геологические изыскания выполнил трест «ЮжуралТИСИЗ». На заводах – Саткинском металлургическом и Чебаркульском «Уральская кузница» – было организовано производство тубинговых колец, первое из которых смонтировано в рабочем стволе будущей станции «Торговый центр». В 1994 г. на базе СМУ-680 создан Тоннельный отряд № 45, которому было поручено выполнение основных работ по проходке перегонных тоннелей. С 2000 г. эстафету по строительству метрополитена приняло ОАО «Челябметрострой», а с октября 2009 г. – ЗАО «Объединение «Ингеоком».

На основании задания на проектирование, утвержденного Министерством путей сообщения СССР по согласованию с Госпланом СССР и Госстроем СССР, проект строительства первого пускового участка первой линии метрополитена от ст. «Тракторозаводская» до ст. «Проспект Победы» в г. Челябинске был разработан институтом «Ленметрогипротранс», получил положительное заключение Главгосэкспертизы России в 1993 г.

Первый пусковой участок будет состоять из пяти станций с перегонными тоннелями, двух оборотных тупиков и ветки в депо. Трасса этого участка проходит от ЧТЗ до ул. Кирова вдоль пр. Ленина, в районе гостиницы «Малахит» пересекает р. Миасс и продолжается до перекрестка пр. Свердловского и Победы. Станции метро, привязанные к наиболее важным пассажирообразующим городским узлам, будут расположены на разной глубине: «Тракторозаводская», «Комсомольская площадь» – мелкого заложения, «Площадь Революции», «Проспект Победы», «Торговый центр» – глубокого заложения. Строительная длина первого пускового участка линии метро составит 8,25 км, эксплуатационная – 7,26 км; протяженность двухпутной ветки в депо – 1,15 км. Ожидаемый годовой объем пассажирских перевозок – 65 млн чел. с увеличением в перспективе до 137,8 млн чел. Предполагается, что в среднем в сутки количество пассажиров составит 222 тыс. чел. с увеличением до 469 тыс. в бли-



Ст. «Комсомольская площадь» на сегодняшний день сооружена только в бетоне



Эскизный проект ст. «Комсомольская площадь»

жайшем будущем. Постановлением главы администрации Челябинской области от 22.05.1996 г. № 294 принято решение для сохранения существующей гидрогеологической обстановки в зоне Челябинского разлома, сокращения сроков и стоимости строительства первой очереди метрополитена приобрести горнопроходческий комплекс для проходки ветки в депо и перегонных тоннелей от ст. «Комсомольская площадь» до вентиляционного ствола № 251. Из первого пускового участка выделен Пусковой комплекс из четырех станций: «Комсомольская площадь», «Площадь Революции», «Торговый центр» и «Проспект Победы».

Строительство первого пускового участка первой линии метро от ст. «Тракторозаводская» до ст. «Проспект Победы» начато в 1992 г. с инженерной подготовки стройплощадок. Несмотря на недостаточное финансирование, в установленные сроки была выполнена инженерная подготовка всех базовых стройплощадок. На сегодняшний день сооружено

более 7,6 км подземных выработок, из них 4,5 км перегонных тоннелей в чугунной и железобетонной обделке. Закончено сооружение тоннеля первой ветки в депо. В 2011 г. в постоянной обделке закончено строительство платформенного участка станции и вестибюля № 2 ст. «Комсомольская площадь», продолжается строительство ст. «Торговый центр», перегонных тоннелей и эскалаторного тоннеля. В 2011 г. возведен вестибюль № 2 ст. «Торговый центр».

Конечно, сроки строительства затянулись, и причиной этого явился перевод метрополитенов России в разряд объектов муниципального уровня, прекращение финансирования из федерального бюджета. Год окончания строительства зависит от многих факторов, в том числе и от полноты финансирования, но все шаги областных и городских властей, направленные на улучшение ситуации, думаю, дадут ощутимый результат и будущие пассажиры шагнут на эскалатор в запланированные сроки.



Транспортно-пешеходный мост через р. Миасс

Ожидаемые результаты ввода в эксплуатацию пускового участка первой линии – это:

- улучшение социальной, экономической и экологической ситуации в городе, повышение инвестиционной привлекательности прилегающих к метрополитену районов;

- обеспечение надежной транспортной связью динамично развивающихся районов Северо-Запада с центральной частью города, что позволит с высокой степенью комфортности перевозить пассажиров.

В прежние времена при динамичном развитии строительства метрополитен имел только дату начала строительства, а дальше шли уже «этапы» – даты окончания сооружения пусковых комплексов, очередей. Как только завершались работы на одной линии, силы стягивались на освоение новых направлений подземного строительства. Для многих людей это становилось смыслом их жизни: метр за метром они отвоевывают подземное пространство, метр за метром

«обустраивают и облагораживают его», готовя к приему поездов и пассажиров.

Важным фактором реализации городской целевой программы «Развитие улично-дорожной сети города Челябинска на 2010–2013 гг.» является строительство и капитальный ремонт искусственных транспортных сооружений: транспортных развязок, путепроводов, мостов, дорог, подземных и надземных пешеходных переходов.

Строительство искусственных транспортных и дорожных объектов ведется в соответствии с городской транспортной схемой и утвержденной городской целевой программой. В соответствии с транспортной схемой города были построены путепровод через железнодорожные пути станции Челябинск-Главный, транспортная развязка ул. Братьев Кашириных – Свердловский проспект у Торгового центра, транспортная развязка в двух уровнях на пересечении автомобильной дороги «Меридиан», Свердловского тр. с

ул. Черкасская, выполнена реконструкция моста по ул. Кирова через р. Миасс. В 2010 г. руководством г. Челябинска и Челябинской области перед дорожными строителями была поставлена весьма амбициозная задача: максимально разгрузить городские трассы от заторов и «пробок», создать дублеры основных магистралей, позволяющих проехать по городу от границы до границы, проложить новые дороги с перспективой развития города. Значительный вклад в это вносит и коллектив МУП «Челябметротрансстрой». В период с 2010 г. было сдано в эксплуатацию и открыто движение на двух путепроводах транспортной развязки на пересечении Копейского шоссе, ул. Гагарина, автомобильной дороги «Меридиан», ул. Рождественского, трех автодорожных путепроводах через железнодорожные пути, по мосту через р. Миасс по ул. Новомеханическая, транспортной развязки по ул. Братьев Кашириных с выходом на ул. Российскую, ул. Труда и ул. Свободы, а именно проезд по путепроводу в направлении ул. Братьев Кашириных – ул. Российской, открыто движение по мосту через р. Миасс по ул. Красная – ул. Каслинская. В 2012 г. построена и введена во временную эксплуатацию очень важная для города транспортная развязка на пересечении ул. Худякова с Университетской набережной и модернизация ул. Худякова, которая решит важную для города проблему снижения нагрузки на проезжую часть плотины, увеличит пропускную способность северо-западного направления.

Продолжая политику развития инфраструктуры города, главой региона и главой администрации Челябинска перед строителями поставлены масштабные задачи изменить не только транспортную инфраструктуру города, но и его внешний вид. Как продолжение транспортного кольца начато строительство транспортной развязки по ул. Дарвина – Троицкого тракта. В дальнейшей перспективе на 2012–2013 гг. городской целевой программой предусмотрено строительство еще нескольких транспортных развязок. Общая величина финансовых средств, вложенных в строительство мостов и путепроводов в период с 2008 по 2012 г., составила более 6,2 млрд руб. Задачи, поставленные исполнительными и законодательными властями, строители успешно выполняют из года в год.

За 20 лет работы МУП «Челябметротрансстрой» внесло большой вклад в совершенствование транспортной инфраструктуры столицы Южного Урала. За всеми успехами на ниве транспортного строительства, в том числе строительства метрополитена, стоит каждодневная напряженная работа проектировщиков, специалистов различного уровня: от руководителя до рабочего – механиков, строителей, монтажников, труд инженеров и техников. Всех объединяет одна цель – сделать Челябинск городом комфортным для проживания, работы и отдыха. Нами движет гордость за славное прошлое и вера в успешное завершение строительства первой очереди метрополитена.



Эскизный проект транспортной развязки по ул. Братьев Кашириных до ул. Российской



Погружные насосы "Tsurumi Pump" (Япония) применяются в строительстве тоннелей, шахт и других сооружений, при перекачивании шлама, жидкостей с высоким содержанием песка и твердых частиц, липкого ила, бентонита и там, где необходимо перекачивать загрязненные жидкости с больших глубин.

Надежность насосов Tsurumi подтверждена безотказной работой на многих объектах строительства в России. Насосы эксплуатируются тоннельными отрядами и специализированными строительными организациями по всей стране. На сегодняшний день насосное оборудование Tsurumi Pump не имеет аналогов.

Уникальные преимущества насосов Tsurumi:

Работа «всухую» в течение неограниченного времени!

Сгорание двигателя исключено: все насосы оборудованы би-металлическими датчиками перегрева, автоматически выключающими насос при перегреве и включающими после того как насос остыл

Возможность работы в горизонтальном положении благодаря специальной системе масляного подъемника в конструкции всех насосов

Попадание влаги в корпус насоса исключено благодаря вулканизированному входу электрокабеля

Встроенная функция взмучивания песка, липкого ила, бентонита со дна емкости для эффективной перекачки высокоабразивных жидкостей

Возможность откачки грязной жидкости до 1 мм (модель LSC)



Tsurumi предлагает широкий спектр моделей насосов от 0,4 до 150 кВт.

По всем вопросам просим обращаться к официальному дистрибютору Tsurumi Pump в России:

ООО «ТК «Решетилов и Ко»

115114, г. Москва, Кожевнический проезд, д. 4, стр. 1

тел: (495) 649-8759; факс (495) 640-4989

info@reshetilov.ru <http://www.reshetilov.ru>

СТРОИТЕЛЬСТВО ЮКСПОРСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ



В. П. Абрамчук, начальник ФГУП «Управление строительства № 30»

А. Ю. Педчик, зам. начальника

В. В. Костенко, гл. инженер

Ф. Г. Меденков, гл. специалист по геоинформационному обеспечению

В мае 2010 г. ФГУП «УС-30» приступило к строительству Юкспорского железнодорожного тоннеля № 2 для ОАО «Апатит» (г. Кировск, Мурманской области). Срок окончания строительства – апрель 2013 г. Трасса тоннеля протяженностью около 1650 м располагается параллельно существующему Юкспорскому тоннелю № 1 и вентиляционно-транспортной штольне. В морфологическом отношении строительство приурочено к предгорью Хибинского горного хребта Кольского полуострова. Одним из порталов тоннель выходит на южный склон г. Юкспор с углом падения его откоса порядка 60°, другой стороной он примыкает к комплексу сооружений входного портала транспортного тоннеля № 1, конкретно к Обгонному тоннелю. Возможно, данный узел претерпит изменения (работы в стадии обсуждения), что потребует, в комплексе с реконструкцией участков уже существующих выработок, дополнительной проходки тоннеля протяженностью около 200 м.

В климатическом отношении район строительства относится к наименее суровым условиям зоны II А. Горный рельеф, в сочетании с полуостровным положением Хибинского горного массива, близостью Баренцева моря, служит причиной неустойчивости погодных условий в течение всего года,

большого количества осадков. В зимний период наблюдаются частые оттепели, снежные заносы и сходы лавин, в летний – заморозки и снегопады.

Проходка тоннеля приурочена, в основном, к крепким скальным грунтам, интрузивного происхождения позднедевонского возраста, представленных уртитам, ийолитами, с маломощными зонами мельтейгитов и пегматитов. Трассу тоннеля секут многочисленные зоны (так называемые зоны шпреуштейнизации – процесс перехода нефелина в натролит) окисленных, разрушенных и выветрелых пород, преимущественно под углами 30–60° и углами падения 70–90°. Мощность таких зон составляет в среднем 5–10 м. Зоны неустойчивые и слабоустойчивые в обнажениях, особенно в условиях обводненного их состояния. Расстояние между ними варьируется в пределах 30–300 м. Количество таких зон по данным ООО «Буровая компания» (Санкт-Петербург), которому было поручено проведение инженерно-геологических изысканий под строительство, прогнозировалось порядка 19–20 на всю трассу. На настоящий момент времени, т. е. по трассе уже пройденного тоннеля протяженностью примерно 1300 м, встречено 17 таких зон. В ходе работ некоторые прогнозные зоны не подтвердились, однако были вскрыты зо-

ны, ранее не прогнозируемые. Для уточнения их мест расположения проходка тоннеля сопровождается бурением опережающих разведочных скважин с отбором керна. Длина скважин 120 м, диаметр – 46 мм. Скважины бурятся станком «Диамек» 250 из людских ниш, равномерно расположенных по трассе тоннеля, с перекрытием в 15–20 м.

Естественная трещиноватость массива (до 80 %) представлена четырьмя основными системами с азимутами их простирания в пределах 5–320° и углами падения 70–90°. По величине открытия более 50 % трещин имеют зияние менее 1 мм. Углы между простиранием трещин и осью тоннеля составляют 15–80°, преимущественно 40–50°, что свидетельствует об унаследованном характере их ориентации окисленным зонам, которые по состоянию пород в их пределах могут иметь более раннее происхождение. А возможно, их образование связано с избирательным характером процессов выветривания и шпреуштейнизации. В целом же, породы характеризуются как слабо-, средне трещиноватые.

Прочность основных петрографических разновидностей пород на одноосное сжатие составляет 150–190 МПа, коэффициент крепости по шкале М. М. Протодяконова – 13–18, плотность – 2,7–2,9 г/см³, коэффициент Пу-



Общий вид строительной площадки Юкспорского тоннеля № 2

ассона – 0,25–0,27, модуль упругости – $6\text{--}7 \times 10^4$ МПа.

Учитывая сложные инженерно-геологические условия строительства, проходка тоннеля была запроектирована в три этапа. Первый включал в себя весь необходимый комплекс подготовительных работ. Второй этап состоял из припортальной врезки и проходки тоннеля до ПК 13+86,9. Трасса тоннеля до этого пикета содержала наиболее мощные зоны окисленных пород при небольших расстояниях между ними, что потребовало применения специальных технологических решений. В частности, возведение защитных экранов в кровле тоннеля и разбивка проходческого цикла на несколько этапов, т. е. отсыпка пандуса, проходка калотты, сооружение экрана, отработка штросс и центральной части тоннеля.

Экран сооружался из труб диаметром 140 мм, требуемой длины, с шагом 0,3 м через бетонную пробку толщиной 500 мм. Бурение скважин осуществлялось установкой МДТ-230К, заполнение обсадных труб и нагнетание в цементационные скважины – раствором нагнетателем СО-239. После установки экрана и отработки массива на участке стоянки МДТ-230К дальнейшая проходка тоннеля велась сплошным забоем заходками по 2 м.

Всего, принимая во внимание наличие многочисленных окисленных зон, некоторые из которых по своим свойствам вполне могут быть приравнены к зонам разломов, предусмотрено девять типоразмеров поперечных сечений тоннеля и параметров по-



Механизированная опалубка для возведения постоянной обделки тоннеля

стоянной крепи. При этом на выделенном выше участке, протяженностью в 214 м, были применены все девять типов сечений.

Третий этап – собственно проходка тоннеля на всю длину и возведение постоянной обделки. В качестве постоянной обделки на наиболее устойчивых участках, отнесенных к I типу (сечение тоннеля в проходке $50,4 \text{ м}^2$), применялся 200-мм слой фибронабрызг-бетона, уложенный по дорожной сетке ВР5, закреплённой железобетонными анкерами диаметром 20 мм с шагом 750 мм. На остальных участках, отнесенных к пяти типам

по площади поперечного сечения тоннеля ($61,2\text{--}81,1 \text{ м}^2$) и, соответственно, толщине постоянной обделки, данный вид крепи использовался в качестве временного крепления, с той лишь разницей, что на участках распространения маломощных окисленных зон слой фибронабрызг-бетона снижался до 150 мм. Постоянное крепление тоннеля на остальных участках выполнялось фибробетоном класса В20 с помощью передвижной опалубки до проектного сечения ($49,4 \text{ м}^2$). В качестве фибры использовалось базальтовое волокно.



Иллюстрация уступного характера продольного контура тоннеля

Обустройство забоя осуществляется самоходной бурильной установкой Sandvik DT820-C, бурение шпуров под анкера – буровой кареткой анкерного крепления Sandvik DS510-C, набрызг-бетон наносится установкой Spraymek 7110 WPC, доставка бетона – бетоносмесителем Utimek 1600 Transmixer, зарядка шпуров ведется с корзины зарядной машины Charmes 9825 BE. Транспортировка взорванной массы производится погрузочно-доставочными машинами МПД-4 и ЛН-514 до узлов перегрузки, где она перегружается в автосамосвалы МоАЗ-7405 и далее в отвал.

После уборки породы очередной заходки ведется оборка заколов машиной Scames 2000 и нанесение предварительного защитного слоя набрызг-бетона толщиной 50 мм, после чего осуществляется установка анкерного крепления. Допускается отставание анкерного крепления от забоя при благоприятных условиях до 20 м, в случаях проявления горного давления в динамической форме анкерная крепь устанавливается до забоя. Допустимое отставание постоянной крепи на участках, отнесенных к I типу, – 35 м.

В отношении сложности инженерно-геологических условий строительства, которая по результатам изысканий была отнесена ко II категории, у нашей организации имеется свое мнение. Причиной разногласий является недостаточная регламентация этого понятия в действующих нормативных документах.

Принимая во внимание, что окисленные зоны, суммарной мощностью порядка 200 м,

рассредоточены по всей трассе тоннеля, а также, если учесть протяженность переходных участков от одного сечения к другому, когда приходилось корректировать параметры паспортов БВР, условия строительства вполне могут быть охарактеризованы как технологически неоднородные. При этом на максимальных сечениях тоннеля, из-за недостаточности размаха стрелы буровой каретки, работы по обустройству забоя и откатки породной массы предыдущей уходки приходилось совмещать в целях формирования пандуса. К этому следует добавить, что породный массив на протяжении трассы порядка в 500 м прогнозировался как склонный к проявлениям горного давления в динамической форме. В этой связи в процессе проходки приходилось варьировать многими другими параметрами технологического цикла. По факту проходки тоннеля на данном участке наблюдались частые проявления горного давления в виде горных толчков, стреляния и шелушения пород, отслоения и куполения кровли, вплоть до динамических выбросов небольших объемов породной массы из забоя тоннеля.

Иными словами, несмотря на расплывчатость формулировок в руководящих документах, уже на этапе инженерно-геологических изысканий условия строительства данного тоннеля вполне могли быть отнесены к III категории сложности, без какого-либо дополнительного обоснования.

Из-за высокого уровня действующих в массиве упругих напряжений, соотносясь со сроками строительства и требуемыми по-

казателями качества ведения БВР, были вынуждены также несколько изменить технологию контурного взрывания, применяемую на проходке тоннеля. То есть было осуществлено совмещение технологий обычного взрывания и гладкого, что привело к несколько большей шероховатости породных обнажений по сравнению с показателями этого параметра для чисто гладкого взрывания. При этом, по предварительным данным, в 70 % случаях контур пройденного тоннеля был поставлен в проектное положение, а с учетом регламентируемых допусков этот показатель составил 89 %. Остальные 11 % переборов были отнесены к так называемым геологическим вывалам (что документально отражено в актах приемки заказчиком объемов выполненных работ), из которых ~3 % могут быть увязаны с недостаточным качеством бурения контурных шпуров. Однако учитывая визуальный характер позиционирования большей их части и потенцирующий характер влияния фактора повышенной напряженности горных пород, данный показатель качества работ следует признать весьма высоким.

О высоком качестве проходческих работ свидетельствуют также такие показатели контурного взрывания, как регулярная уступность продольного контура тоннеля и отсутствие, в большинстве своем, законтурного разрушения пород (по данным реометрических измерений). Причем на участках более напряженных пород четкость уступности продольного контура заметно снижается, что также может служить кос-

венным подтверждением большей сложности ведения проходческих работ по технологии гладкого взрывания в высоконапряженных массивах.

Следует в этой связи отметить, что показатели качества ведения проходки были достигнуты в результате проведения определенного объема экспериментальных работ. При этом варьировались параметры вруба, глубина заходки, количество контурных и отбойных шпуров, конструкции зарядов. В результате наиболее производительными и обеспечивающими требуемое качество были признаны шпуровой конусообразный вруб глубиной 3,5 м и 3-метровая длина отбойных и контурных шпуров, что позволило достичь показателя КИШ близким к 1 и регулярной суточной цикличности, вполне достаточной для достижения целевых задач строительства. На производстве взрывных работ применялся патронированный Аммонит № 6 ЖВ диаметром 32 мм, при этом при формировании контурных зарядов осуществлялось его рассредоточение, на врубе использовался Аммонал-200. Инициация взрыва – с использованием системы СИНВ-III.

В качестве иллюстрации влияния упругих напряжений на формирование зоны дробления и откола вблизи шпурового заряда на рисунке справа показано как формируется эта зона в донной части контурных шпуров, так называемые «пятяки». Это фото было сделано в одной из выработок Расвумчоррского рудника ОАО «Апатит» в конце 70-х гг. прошлого столетия во время отработки технологии контурного взрывания с применением контурных зарядов, формируемых путем рассредоточения штатных зарядов из патронированного Аммонита № 6 ЖВ.

До Юкспорского тоннеля ФГУП «Управление строительства № 30» располагало опытом работ в условиях высоконапряженных массивов скальных пород. Однако при этом, в силу достаточно больших площадей поперечных сечений возводимых выработок, наблюдались лишь начальные формы проявления горного давления в динамической форме.

На данном строительстве этот опыт существенно расширился. При этом были получены фактические данные о состоянии и свойствах породного массива, подтверждающие ранее сформулированные нами представления о массивах горных пород, основные положения которых частично изложены на страницах журнала «Метро и тоннели», в частности № 6 за 2008 г. Дальнейшее их развитие – тема отдельных публикаций.

В заключение следует отметить, что в настоящее время под эгидой Тоннельной ассоциации России и в сотрудничестве с другими заинтересованными организациями ведутся работы по совершенствованию нормативно-технической базы в подземном строительстве и, в частности, в тоннелестроении. Наш опыт, в дополнение к сказанному выше в отношении сложности инженерно-геологических условий, показывает, что, например, ранее действующие документы, регла-



Иллюстрация влияния НДС массива на формирование зоны дробления и откола вблизи контурных зарядов

ментирующие величины допустимых переборов при проходке тоннелей, не отражают всего разнообразия инженерно-геологических условий, встречающихся на практике. При этом отсутствует их дифференциация по множеству определяющих факторов, прежде всего по уровню действующих в массиве упругих напряжений, которые сами по себе являются важным влияющим фактором, да к тому же существенно потенцируют контрастность изменчивости и влияния других инженерно-геологических характеристик.

Показательным примером, в этой связи, являются наши взаимоотношения с заказчиком данного строительства по вопросу отношения сверхнормативных переборов к категории «геологический вывал», за исключением случаев их возникновения в результате проявлений горного давления в динамической форме, т. е. когда причины очевидны. В ранее действующих документах это понятие, ясное по смыслу, никак не было каким-либо образом регламентировано.

По нашему мнению любой по величине перебор, явно приуроченный хотя бы к одной из плоскостей естественных трещин, а тем более нескольким, вполне может квалифицироваться как «геологический вывал». И этому есть четкое физическое обоснование. Поскольку естественные трещины, с позиций общей теории природных систем, являются не концентраторами упругих напряжений, как это принято считать, а их источником, формирующим внутренний упругий энергетический потенциал горных пород, параметры которого зависят от геометрических размеров трещин, их интенсивности и геологического возраста, а также, что естественно, генезиса породного массива в целом.

Таким образом, следует еще раз подчеркнуть, что, несмотря на негативное влияние

фактора повышенной напряженности породного массива, качество проходческих работ на данном строительстве было достигнуто максимально возможное, насколько это позволяли условия реального строительства по экспериментальной доработке технологии контурного взрывания до оптимального состояния.

Близкий по смыслу вывод сформулирован сотрудниками Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Горный институт КНЦ РАН», которые были привлечены на хозяйственной основе к научному сопровождению данного строительства (см. журнал «Метро и тоннели» № 1 за 2012 г.).

Принципиальные возможности по повышению качества гладкого взрывания в условиях высоконапряженных массивов вполне реальны. И сопряжено это с обеспечением больших возможностей по учету и управлению влияющими факторами.

По завершению строительства и дальнейшей обработки данных планируется по этому вопросу представить более подробный анализ и сформулировать на его основе предложения по внесению изменений и дополнений в разрабатываемые нормативные документы. Уже сейчас можно утверждать, что на участках контура с максимальной концентрацией упругих напряжений величины переборов, даже по технологии гладкого взрывания, могут существенно превышать нормативный их уровень, а вблизи отдельных естественных трещин в особенности. Это должно быть отражено в регламентирующих документах, равно как и зависимость нормативного перебора от площади поперечного сечения выработки. В ранее действующих документах этот момент был упущен.



ПОРТАЛЫ И ПРОБЛЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ ВХОДНЫХ УЧАСТКОВ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

В. Р. Гоппе, ГИП «Сочитранстоннельпроект ТО-44», к. т. н.



Рис. 1. Компьютерная визуализация порталной стены в виде эллипса

Тоннелестроение в настоящее время – это сложный и высокотехнологичный вид строительства.

И уже на этапе проектирования должны применяться наиболее современные, научно обоснованные методики и программы расчетов, компьютерное моделирование и т. п. Это позволяет применять при строительстве надежные, экономичные и, в то же время, удобные в эксплуатации решения.

Чем шире проектировщик использует теоретический анализ и практический опыт, тем больше тонкостей и нюансов при материализации проекта будет учтено и, при необходимости, снято.

Одна из систем, которая непосредственно влияет на безопасность, удобство, и даже комфорт при движении через тоннельное пересечение – это освещение.

Данная статья рассматривает одну из проблем, которая может возникнуть лишь в особых случаях. Тем не менее, знание такой или подобной ей проблемы может заострить внимание и помочь проектировщику в деле разработки качественных, надежных и экономичных решений.

При проектировании освещения транспортных (в частности автодорожных) тоннелей одной из важнейших задач является обеспечение для водителя транспортного средства, въезжающего в тоннель, возможности адаптироваться в зоне доступа.

При движении автотранспорта с дневной поверхности с естественным освещением внутрь тоннеля, где освещение искусствен-

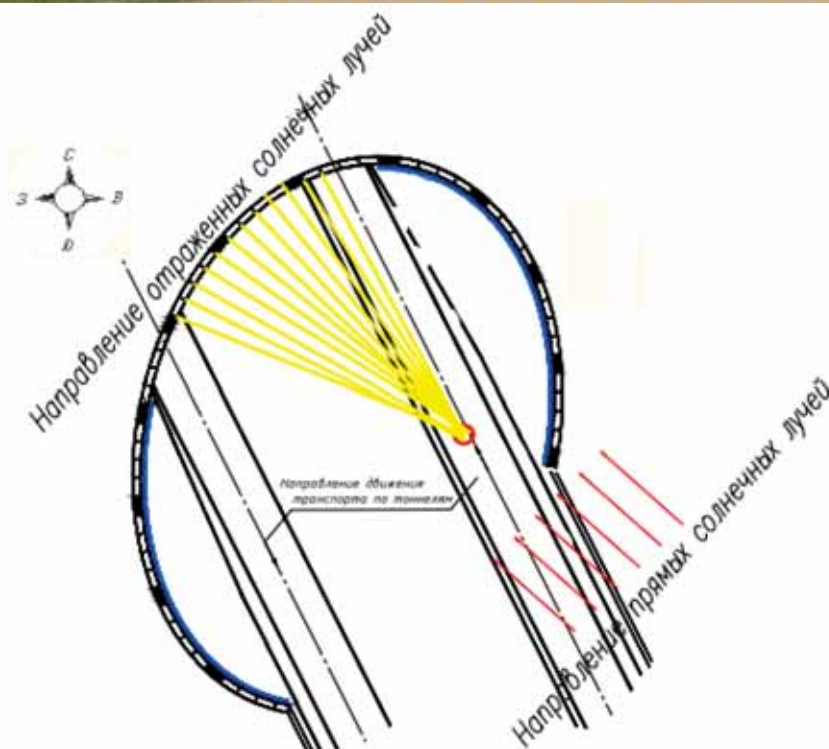


Рис. 2. Схема фокусировки отраженного солнечного света на проезжей части в зоне доступа в тоннель

ное, происходит резкая смена восприятия дорожной обстановки водителем. Поэтому необходимо регулирование уровня средней яркости на входах в тоннель.

Зона доступа – это припортальный участок трассы, т. е. она расположена не внутри самого тоннеля, а на въезде в него.

Водитель должен иметь возможность видеть из этой зоны внутреннюю часть тоннеля,

чтобы обнаружить возможные препятствия и въехать в тоннель без понижения скорости. Способность водителя адаптироваться в зоне доступа обуславливается уровнем средней яркости следующей зоны, которая находится непосредственно на въездной части внутри тоннеля.

Снижение уровня средней яркости на припортальном участке достигается за-

темнением стен порталов, облицовкой их материалами с низким коэффициентом отражения, а также окраской в темный цвет материала проезжей части перед тоннелем. Также для затемнения припортового участка рекомендуется посадка деревьев и кустарников вдоль автомобильной дороги на припортовом участке. Помимо затемнения подъездных участков повышают уровень средней яркости во въездной зоне тоннеля. Кроме того, на въездных участках внутри тоннеля устраивают отделку с высокой отражательной способностью, а покрытие проезжей части целесообразно делать светлым. Для этого можно применить специальные красители как добавки в материал покрытия, что повышает эффект отражения света от покрытия. За счет увеличения степени отражения потолка и стен тоннеля также повышают уровень средней яркости в тоннеле – стены и потолок создают фон для силуэтов автотранспортных средств.

Одним из методов, используемых Междугородной комиссией по освещению (МКО) для расчетов зрительной адаптации, является метод L_{20} , который учитывает среднюю яркость окружающей среды, неба и дороги в визуальном конусе 20° , с центром на линии видимости водителя от начала зоны доступа.

По указанному методу при проектировании освещения транспортных тоннелей необходимо рассмотреть 5 ключевых зон.

Но при рассмотрении интересующей нас проблемы достаточно рассмотреть 2 зоны:

- 1 – зона доступа (см. выше);
- 2 – пороговая зона.

Пороговая зона по указанному методу принимается равной «тормозному пути» расчетного транспортного средства. В первой части этой зоны требуемая яркость должна оставаться постоянной, корреспондироваться с яркостью снаружи (в зоне доступа) и условиями дорожного движения. В конце зоны обеспечиваемый уровень яркости может быть быстро снижен до 40 % от первоначального уровня.

Строительные нормы РФ [1] специально классифицируют транспортные тоннели по освещению и задают значения отношения средней яркости дорожного покрытия пороговой зоны тоннеля к яркости адаптации в подъездной зоне доступа.

Рассмотрим случай, когда яркость окружающей среды, неба и дороги в зоне доступа искусственно усиливается принимаемой конструкцией и отделкой portalной стены тоннеля.

На рис. 1 представлена компьютерная визуализация portalной стены в виде эллипса – данная архитектурная концепция



Рис. 3. Компьютерная визуализация portalной стены в виде эллипса (вариант с темным фасадом)

принята как олимпийская тема для сооружаемых тоннелей II и III очереди Дублера Курортного проспекта в г. Сочи. Отделка визуализирована из светлого полированного камня.

Каким образом, как указано выше, может искусственно усиливаться яркость окружающей среды в зоне доступа?

В зависимости от ориентации по сторонам света, в определенные периоды времени portalные стены будут играть роль эллиптического зеркала, концентрируя (фокусируя) на проезжей части в зоне доступа отраженный солнечный свет (рис. 2)*.

Этот же эффект можно увидеть и на компьютерной визуализации portalной стены (справа в верхней части стены).

Нельзя сказать, что этот эффект имеет какие-то фатальные последствия для тоннеля или для движения транспортных средств в зоне доступа.

Но этот эффект необходимо учитывать, и он, будучи учтенным в расчетах необходимой яркости в пороговой зоне тоннеля, потребует усиления освещения в ней и, как следствие, увеличения количества светильников рабочего дневного освещения в пороговой зоне и повышенных затрат на электроэнергию при эксплуатации тоннеля.

Также необходимо учитывать, что те же нормы [1] ограничивают допустимую яркость рабочих поверхностей по условиям отраженной блескости, а также высоту источника света над уровнем земли.

Здесь следует отметить, что в действующем нормативном документе [2] имеются прямые указания на ограничение яркости portalных стен (*п. 3.20 ...Для облицовки лобовой поверхности порталов и подпорных стен должны применяться материалы темного цвета*) и нормы по освещенности в транспортных (например, автодорожных) тоннелях (*в табл. 7 установлена средняя горизонтальная освещенность*).

Имеются ли противоречия при попытке совместного учета действующих норм [1] и [2]? Да, имеются.

Что касается указанных норм освещенности, то они, безусловно, потеряли актуальность с выходом [1].

Что касается формы portalной стены и материала отделки, то ясно, что важна и форма (желательно, чтобы она не создавала эффекта фокусирования отраженного солнечного света), и материал (желательно, чтобы материал был темным и слабо отражающим солнечный свет). Т. е., проектируя порталы тоннелей, на наш взгляд, необходимо помнить вышеуказанное положение [из 2] об ограничении яркости portalных стен и взвешивать архитектурные решения на весах не только эстетики, но и экономики.

На рис. 3 представлена компьютерная визуализация той же portalной стены (вариант с фасадом из темного неполированного камня).

Как видно из последнего рисунка, яркость окружающей среды в зоне доступа искусственно снижена отделкой portalной стены. Таким образом, на наш взгляд ясно, что в данном случае будет обеспечена более мягкая смена восприятия дорожной обстановки водителями.

Выводы

Особенностью и определенной сложностью проектирования освещения автодорожных тоннелей является необходимость учета яркости окружающей среды, неба (встречного солнечного света), portalной стены, дороги и т. д. в зоне доступа.

Современная нормативная и методическая база проектирования освещения автодорожных тоннелей позволяет разработать адекватные решения практически для любой возможной яркости окружающей среды, формы portalных стен, разнообразных материалов их отделки.

Исходя из теоретического анализа и опыта проектирования, целесообразно применять для отделки portalных стен материал темных цветов и слабо отражающий солнечный свет (неполированный), конструктивно предотвращать или максимально снижать эффект фокусирования отраженного солнечного света в зону доступа тоннельного пересечения.



[1] – СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция. СП 52.13330.2011. М., 2011.

[2] – СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные. М., 1998.

*В связи с этим интересно вспомнить легенду о том, как Архимед сжег военный флот римлян под Сиракузами, последовательно выстраивая в солнечный день солдат с полированными щитами таким образом, чтобы фокусировать одновременно солнечные лучи на отдельном корабле врага.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ПЕНОГРУНТОВОЙ КОМПЕНСАЦИИ В ЩИТОВОМ ЗАБОЕ

Б. И. Федунец, МГГУ

С. В. Мазеин, Тоннельная ассоциация России

М. А. Потапов, ОАО «Трансинжстрой»



Применение роторных щитовых комплексов для строительства тоннелей (ТПМК) связано с возможностями формирования больших круговых сечений тоннелей и высокой скорости проходки, безопасной для персонала и наземных сооружений, с хорошим качеством выполненной отделки, целостности ее и городской поверхности над тоннелем. Последнее преимущество такой технологии создается закрытой головной частью щита, в которой обеспечивается компенсация горного давления специально формируемой опорной средой. Для скоростного строительства перегонных тоннелей Московского метрополитена ОАО «Трансинжстрой» применяет щиты с грунтопригрузом с увеличенной длиной заходки и конвейерной откаткой. Создание грунтопригруза во многих типах проходимых пород затруднено, а зачастую невозможно без направленного изменения условий грунтопригрузной среды различными добавками. Добавки, участвующие в так называемом процессе «кондиционирования грунта», по составу представляют собой пенообразователи, бентониты и полимеры. Информация об исследованиях их влияния на свойства грунтов достаточно скудна и не находит должного отражения в технологических регламентах проходки, хотя и появляются публикации, например, о применении отечественных кондиционеров (Закорименный А. И., Немков С. А., Файзрахманов Н. Г. *Перспективы и*

оптимизация применения отечественных кондиционеров грунта при проходке тоннелей в изменяющихся горно-геологических условиях // Материалы научно-технических конференций Тоннельной ассоциации России 2010–2011. – 2011. – С. 39–40).

Техническое оснащение ТПМК позволяет осуществлять дозировку, смешивание и подачу пенообразующих добавок в забойную камеру. Тоннелепроходческий комплекс имеет современное исполнительное и контрольно-измерительное оборудование, обеспечивающее надежность и рациональность всех рабочих процессов экскавации, кондиционирования и выдачи грунта. Полное компенсирование горного давления перед щитом с грунтопригрузом неотделимо от мероприятий по кондиционированию пены, изменяющей путем разуплотнения грунта его строительные свойства (пластичность). В рабочий компьютер щитового комплекса необходимо как можно точнее вводить параметры получаемой пены, создаваемой смешиванием воды, пенообразователя, воздуха, и затем подаваемой в разработанный ротором щита грунт. Это связано с тем, что подача дорогих кондиционирующих материалов должна оставаться минимальной из экономических и экологических соображений. В забое создается оптимальное кондиционирование грунта только при количественном обосновании применения пенообразователей по строительно-технологичес-

ким воздействиям пеногрунтовой компенсации в забое.

Контроль пеногрунтового пригруза

На тоннельной проходке в неустойчивых породах механизированными щитами с закрытой головной частью состояние равновесия в забое активно поддерживается с помощью специальной среды, противодействующей давлению жидкой и твердой фаз грунта. В качестве такой среды пригруза действует разрабатываемый ротором грунт, который пластифицирован добавлением пенных реагентов и транспортируется шнековым транспортером, а затем системой ленточных конвейеров на земную поверхность.

На щитовом комплексе внедрена компьютерная программа контроля проходки щитом с гидropriгрузом в грунтах, требующих кондиционирования, при экскавации и выдаче на земную поверхность. Целью контроля данных для проходки являются распознавание на ранней стадии критических ситуаций и рациональность рабочих процессов. Для этого в главной системе контроля балансируют количество забойного и транспортируемого грунта, а также объем расходных материалов. В дальнейших подсистемах численно анализируются потоки материалов и плотность поддерживающей среды через непрерывные измерения давлений, темпов работ и объемных расходов. За счет непрерывной записи данных и оценки определяют

взаимозависимость параметров. В случае изменения производят своевременные действия по их восстановлению в автоматическом или ручном режимах.

Давление пеногрунта, измеренное на передней стенке щита, даже на известных высотных уровнях, еще не является гарантией оптимальной проходки с незначительными осадками поверхности и устойчивым забоем. Полное контролирование такого давления не будет обеспечено, если создаваемый пеногрунт не обладает требуемыми реологическими и структурными свойствами, которые придает пеногрунту генерируемая и дозировано подаваемая в забой пена с определенными параметрами. Для выбора пенообразующих материалов и оценки их приблизительных расходов на пеногенерации первоначально представляется целесообразным лабораторное измерение характеристик различных пен.

Концентрация пенообразователей в лабораторных опытах

Цели лабораторных исследований свойств пенообразователей – это определение кратности и плотности пены, а также оптимизация водных концентраций пенообразователя по критериям кратности и времени жизни пены.

Кратность и время жизни – это основные физические свойства технической пены, влияющие на стойкость поризованной грунтовой смеси и характеризующие качество пенообразователя. Они зависят от его вида и условий приготовления пены, которые в значительной мере влияют на физико-механические свойства поризованного грунта.

Кратность пенообразователя определяется как объем полученной пены V_p , деленный на объем исходного пенообразователя V_{pc} . В большинстве случаев пенообразователи поставляются в концентрированном виде и требуют разбавления водой. Тогда получаемая кратность (показатель FER – Foam Expansion Rate) устанавливается через объем V_p полученной пены и объем V_{pc} перешедшего в пену исходного водного раствора известной концентрации C :

$$FER = V_p / V_{pc} \quad (1)$$

Необходимо точное определение как оптимальной концентрации пенного реагента, дающей максимальную кратность пены, так и получаемой кратности FER , поскольку на это соотношение автоматически настраиваются расходы воздуха и водного раствора пенообразователя. При заниженных показателях FER будет его перерасход.

Время жизни пенообразователя можно установить путем измерения периода полураспада полученной пены на поверхности водного раствора пенообразователя. Для этого в мерном стеклянном цилиндре замеряют высоту пены, полученной, например, падением струи раствора пенообразователя, через промежуток времени до сокращения высоты пены в два раза по сравнению с первоначально полученным ее объемом. Время T_{50} ,

за которое высота пены снизилась на 50 %, будет характеризовать время жизни пенообразователя, зависящее от его концентрации в воде, при которой достигается максимум времени жизни пенообразователя. Это будет наиболее оптимальным для его использования в промышленном масштабе при сходстве температурных условий и химической среды лабораторного опыта (с поправкой влияния грунта).

При температуре окружающей среды 17–26 °С и относительной влажности воздуха 40–50 % исследованы T_{50} и FER для водных растворов следующих добавок пенообразователей: CLB F4 (Франция); КРП-2 и МСЦ-ПРИГРУЗ (Россия).

По результатам парных экспериментов, имеющих хорошую сходимость результатов, построены зависимости T_{50} и FER от концентрации C добавок в среде $pH = 5-7,5$ (рис. 1). Аппроксимация для T_{50} и FER произведена полиномами 3 порядка с удовлетворительными коэффициентами корреляции.

На графиках, проведенных через начало координат, видны незначительные различия в действиях на пену применяемых добавок при концентрировании их водных растворов. Для всех добавок пенообразователей отмечено, что максимум стойкости пены достигается при концентрациях в 1,5–2 раза больших, чем для достижения максимума ее кратности.

Основные расходы материалов пеногенерации

Решающее значение для качественного использования пены в создании пеногрунтового пригруза имеют следующие ее параметры:

- количество пенообразователя в водном растворе (концентрация C , %);
- кратность пены FER (Foam Expansion Rate – степень расширения, доля воздуха в пене);
- пеногрунтовое отношение FIR (Foam Injection Rate – доля инъекции пены в грунт, %).

Водный раствор пенообразователя характеризуется объемной концентрацией C пенной добавки (тензида) в воде, которая вычисляется через объемные потоки воды $Q_{вод}$ и тензида $Q_{тенз}$:

$$C = 100 \times Q_{тенз} / (Q_{тенз} + Q_{вод}), \% \quad (2)$$

Степень расширения пены, т. е. задаваемая кратность FER^* показывает долю воздуха в пене. В связи со сжимаемостью воздуха, его

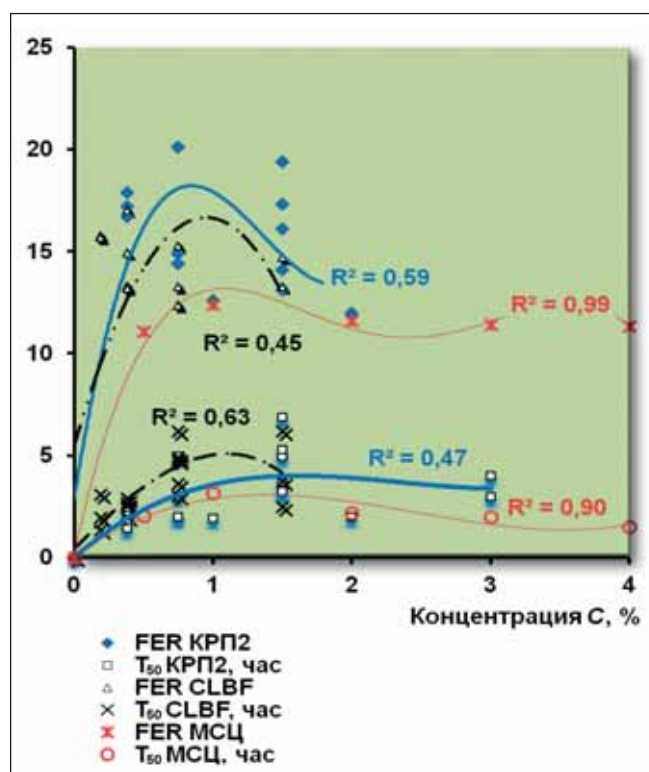


Рис. 1. Зависимости времени жизни T_{50} и кратности пены FER от концентрации C пенообразователей CLB F4, КРП-2 и МСЦ в воде

требуемый объемный расход $Q_{возд}$ варьируется в зависимости от опорного давления P_0 (бар) и объемного расхода раствора (ликвида) $Q_p = Q_{тенз} + Q_{вод}$:

$$Q_{возд} = Q_p \times (FER^* - 1) \times (P_0 + 1), \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (3)$$

где FER^* – задаваемая степень расширения пены:

$$FER^* = Q_p / Q_p, \quad (4)$$

где Q_p – объемный расход пены.

Для достижения оптимального действия пены как на поверхность забоя, так и на транспортировку материала, наряду с хорошим перемешиванием, решающее значение имеет и количество используемой пены. Необходимое количество Q_p выражается в виде процента от общего количества выработанного грунта Q_g :

$$Q_g = A \times v, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (5)$$

$$Q_p = Q_g \times FIR / 100 = A \times v \times FIR / 100, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (6)$$

где A , м^2 – площадь забоя;

v , $\text{м}/\text{мин}$ – скорость проходки;

$FIR = 100 \times Q_p / Q_g$ – процент инъекции пены по отношению к выработанной породной массе.

Отсюда расход раствора вычисляется по формуле:

$$Q_p = A \times v \times FIR / (100 \times FER^*), \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (7)$$

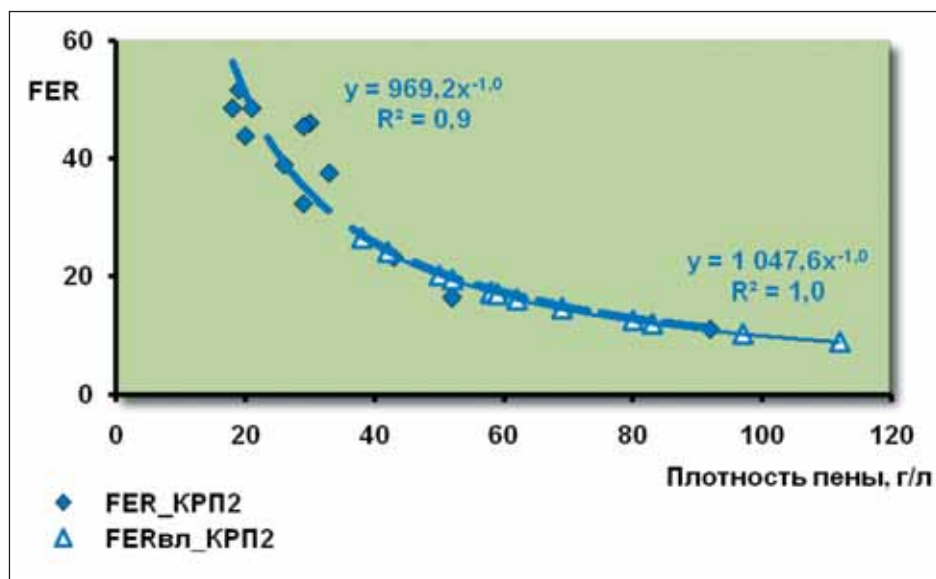
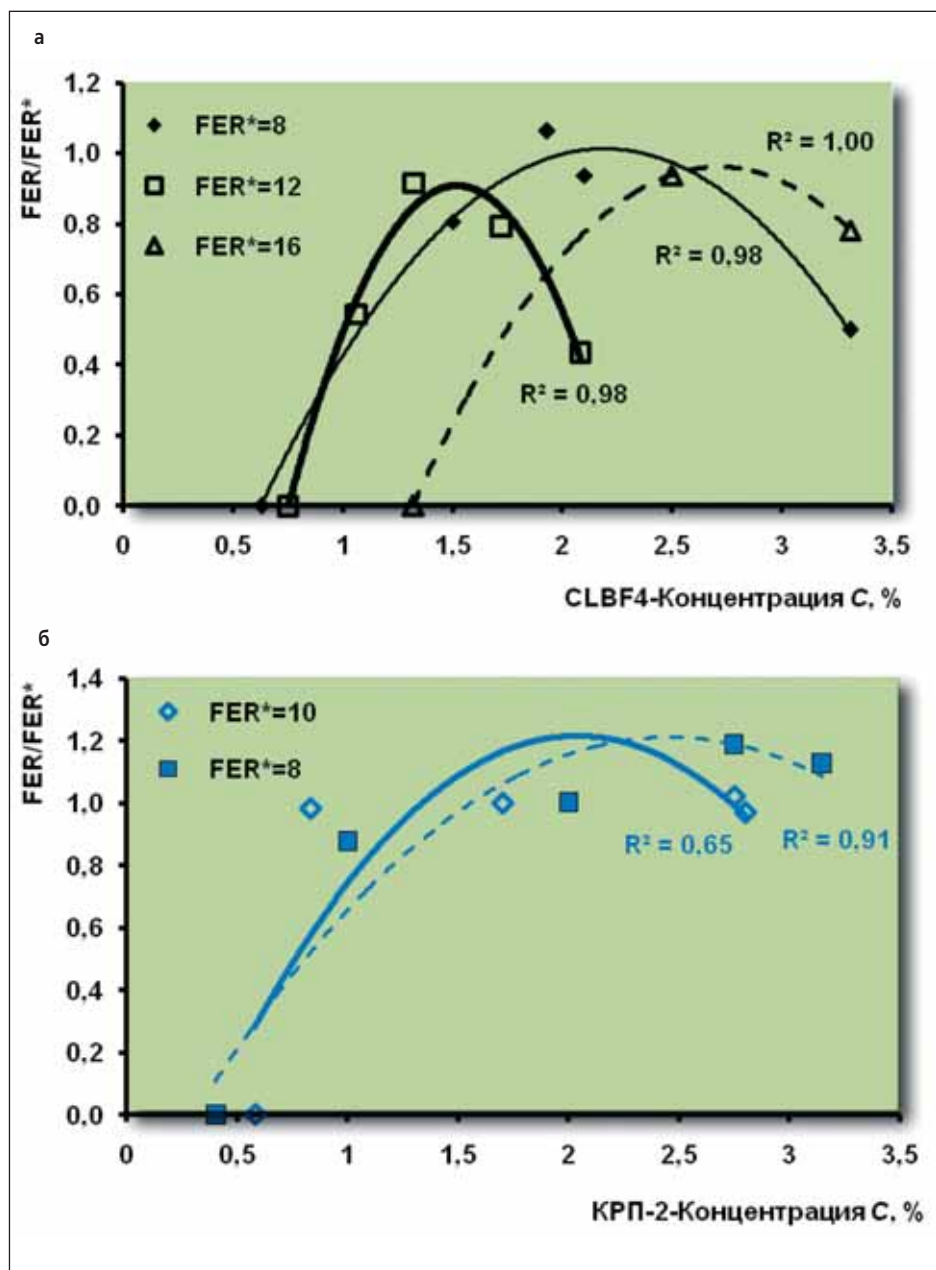
расход тензида:

$$Q_{тенз} = Q_p \times C / 100 = A \times v \times C \times FIR / (10000 \times FER^*), \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (8)$$

расход воздуха:

$$Q_{возд} = A \times v \times FIR \times (P_0 + 1) \times (1 - 1 / FER^*) / 100, \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (9)$$

Площадь забоя A – постоянная величина, а скорость проходки v и опорное давление P_0 (бар) – переменные величины, обусловленные режимом эксплуатации.

Рис. 2. Зависимость кратности FER от плотности пены КРП-2Рис. 3. Зависимости эффективности пеногенерации FER/FER^* от концентрации в ликвиде пенообразователей CLBF4 (а) и КРП-2 (б)

Расход пенообразователя на 1 м^3 грунта определяется из формул (5) и (8):

$$Q = 1000 \times Q_{\text{тенз}} / Q_{\text{г}} = C \times FIR / (10 \times FER), \text{ л/м}^3. \quad (10)$$

Исходя из данных взаимосвязей ясно, что оператор проходческого щита, располагая стандартно предлагаемыми параметрами управления, такими как расход раствора и воздуха по каждому инжектору, только в редких случаях сможет вручную произвести в призабойной камере однородную суспензию, соответствующую желаемому качеству. Поэтому процесс дозирования компонентов автоматизирован, для выставления в компьютере исходных данных необходимо лишь знать оптимальную концентрацию пенообразователя в ликвиде.

Концентрация пенообразователей при пеногенерации

Проведенные промышленные испытания пенных добавок CLBF4 и КРП-2 в рабочих диапазонах концентрации и степени расширения, рекомендованных ранее лабораторными опытами, показали фактически некоторое завышение оптимальных концентраций.

Одним из критериев их оптимизации при пеногенерации была принята эффективность пеногенерации, оцениваемая как отношение получаемой кратности FER к степени расширения FER^* , задаваемой на компьютере щита. Получаемая после пеногенератора из ликвида плотностью $\gamma_{\text{л}} \approx 1\text{ г/мл}$ кратность FER измерялась с достаточной точностью как

$$FER = 1 / \gamma_{\text{л}}. \quad (10)$$

Обоснованность применения формулы (10) подтверждается лабораторными измерениями кратности FER и плотности пены $\gamma_{\text{л}}$, г/мл, создаваемой пенообразователем различной концентрации в воде, с нахождением тесной степенной зависимости как $FER_{\text{вл}}(\gamma_{\text{л}})$ для влажной пены в первые минуты после ее образования, так и $FER(\gamma_{\text{л}})$ сухой через более длительное время после оттока части ликвида из утончающихся стенок пузырьков под действием гравитационных сил (рис. 2).

Натурные испытания пеногенерации проводились на проходке щитом с пеногрунтовым пригрузом (левый тоннель метро на строящемся перегоне «Новогиреево» – «Новокосино»). Плотность пены $\gamma_{\text{л}}$ в г/мл определялась прямым взвешиванием отобранной из пеногенератора пены в сосуде известного объема и веса. Для оптимальной степени расширения, задаваемой на компьютере щита, получено значение $FER^* = 12$ (для пены CLBF4) и $FER^* = 10$ (для пены КРП-2), (рис. 3).

Эффективность пеногенерации с заданной оптимальной степенью расширения пены получена около нулевого показателя (пена не образуется) для низких концентраций добавок. При их повышении эффективность приближается к 1, а затем несколько падает, что позволяет по ее максимуму найти оптимальную концентрацию пенных добавок. За

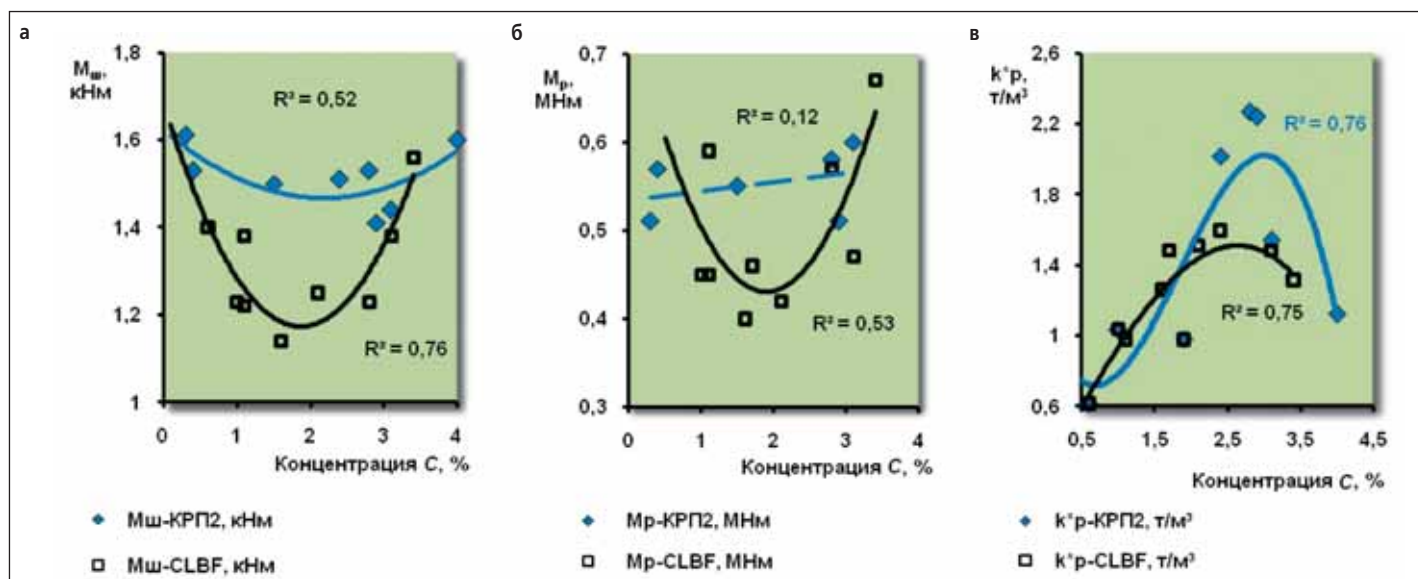


Рис. 4. Зависимости вращающих моментов шнекового транспортера $M_{ш}$ (а), ротора M_r (б) и эффективной плотности k^*p (в) пеногрунта от концентрации добавок CLB F4 и КРП-2 в ликвиде

Таблица

Оптимизация концентрации C , % и расхода Q , л/м³ пенообразователей

Эксперимент	Лабораторный			Промышленный					Расход Q , л/м³ при $FIR = 35\%$
Критерий оптимизации	FER^*	T_{50}	среднее	FER/FER^*	$M_{ш}$	M_r	k^*p	среднее	
CLB F4 ($FER = 12$)	0,5	1,2	0,85	1,5	1,9	1,8	2,6	2,0	0,583
КРП-2 ($FER = 10$)	0,8	1,7	1,25	2,1	2,3	—	3,0	2,5	0,875

счет увеличенной кратности эффективный расход CLB F4 на 20 % ниже, чем КРП-2, при добавочном понижении концентрации водного раствора соответственно на 28 %.

Концентрация пенообразователей при разработке грунта

Добавки пенообразователей превращают вынимаемый грунт в пластичную массу, добываясь следующих свойств на движущихся поверхностях щита:

- однородность и водонепроницаемость,
- пластичность, уменьшение адгезии и износа.

Улучшение свойств грунта увеличением концентраций пенообразователей сопровождается уменьшением вращающих моментов на исполнительных органах щита – роторе (M_r) и шнековом транспортере ($M_{ш}$). Оптимальные концентрации добавок CLB F4 и КРП-2, соответствующие минимумам вращающих моментов ротора и шнека, исследовались в натурных испытаниях на проходке щитом с пеногрунтовым пригрузом (левый тоннель метро на строящемся перегоне «Новогиреево» – «Новоосино»). Результаты натурных испытаний пенообразователей в водонасыщенных суглинках на снижение вращающих моментов представлены на рис. 4а и 4б.

На рис. 4в приведены результаты измерения «кажущейся» плотности k^*p пеногрунта в забое при различных концентрациях пено-



Обработанный грунт пеной фирмы «Кондат» в призабойной камере

образователей КРП-2 и CLB F4. При действительной плотности $\rho = 1,5-2,0$ т/м³ пеногрунта коэффициент k бокового давления пеногрунта стремится к 1 в диапазоне оптимальных концентраций C пенообразователя, когда пеногрунт представляет собой однородную гидростатичную среду.

Результаты оптимизации концентраций добавок CLB F4 и КРП-2 в лабораторных и промышленных экспериментах проходки в суглинках представлены в табл.

Результаты оптимизации по критерию стойкости пены в лаборатории приближены к усредненному результату натурного экспе-

римента. Оптимальные концентрации в условиях проходки по суглинкам превышают в 1,2 раза результаты лабораторного испытания стойкости пены для добавки КРП-2 и в 1,4 раза – для CLB F4. По итогам натурных испытаний пенообразователь CLB F4 эффективней добавки КРП-2: по критерию концентрации – на 25 %, а расхода Q – в 1,5 раза. То есть добавка CLB F4 даже при своей стоимости в 1,5 раза выше конкурентоспособна с добавкой КРП-2. Однако CLB F4 имеет дополнительное преимущество, поскольку значительно снижает показатели вращающих моментов ротора и шнека.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЪЕКЦИОННЫХ РАБОТ ПРИ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С. Ю. Шибаев, технический директор ООО «Эм-Си Баухеми»

Инъекционные технологии широко применяются в современном ремонте железобетонных и каменных конструкций для заполнения трещин и пустот в них, восстановления прочностных показателей, для ремонта гидроизоляции заглубленных сооружений или усиления и связывания грунтов.

Одним из важнейших вопросов является грамотный подбор наиболее подходящего для конкретной ситуации инъекционного материала. В первую очередь, это касается его основы. Это могут быть как различные виды полимерных смол (эпоксидных, полиуретановых, гидроструктурных), так и цементные суспензии. Немаловажен и учет параметров выбранных материалов, т. к. от них напрямую зависит производительность и эффективность инъекционных работ. Это хорошо видно при анализе формулы Хагена-Пуазейля, которую можно применить для количественной оценки объема инъектирования полимерными смолами за единицу времени:

$$V = \pi r^4 \Delta p / 8 \eta l,$$

где: V – объемная скорость инъектирования, мл/с;

r – ширина раскрытия трещины;

Δp – давление инъектирования;

η – вязкость инъекционного материала;

l – длина инъектируемой трещины.

При всех равных условиях повысить скорость инъектирования можно либо увеличением давления инъектирования, либо снижением вязкости материала.

Увеличивать давление инъектирования до бесконечности невозможно. Существует жесткое правило, ограничивающее максимальное давление инъектирования. Оно не должно превышать 1/3 от показателя прочности бетона на сжатие в кг/см². Т. е. если прочность бетона в конструкции равна 300 кг/см², то максимальное давление инъектирования

не должно превышать 100 атм. В противном случае возможно образование микротрещин в бетоне и дальнейшее разрушение конструкции.

Поэтому вязкость смолы остается одним из важнейших параметров, на который следует обращать внимание при подборе инъекционного материала. И здесь важно, чтобы вязкость материала не была снижена за счет добавления в него растворителя. Такой материал стоит дешевле, но эта экономия обманчива, т. к. после испарения растворителя не будет обеспечена 100-% герметизация трещины, а растворитель, попавший в бетон, остается в нем в качестве латентного пластификатора. В результате через небольшой промежуток времени может появиться потребность в проведении нового, часто достаточно затратного ремонта.

Постоянное развитие современной строительной химии позволяет получать качественные материалы с все более низкой вязкостью. Например, компании MC-Bauchemie удалось снизить вязкость эластичных полиуретановых смол, не содержащих растворитель, с неплохих 90 мПа·с для MC-Injekt 2300 plus до 55 мПа·с у нового материала MC-Injekt 2300 top. Насколько это позволило повысить эффективность инъекционных работ несложно оценить по выше приведенной формуле Хагена-Пуазейля. В данном случае при прочих равных условиях производительность повышается на 64 %, т. е. за одинаковый промежуток времени материалом с меньшей вязкостью можно проинъектировать в 1,5 раза больше погонных метров трещин. Это позволит сократить сроки ремонта, что выгодно и подрядчику и заказчику. Также экономический эффект можно оценить при работе в ограниченных по времени условиях. Например, при проведении ремонта в тоннелях метрополитена, когда время работы ограничено ночной сменой и

на непосредственно инъекционные работы затрачивается примерно 2–2,5 ч.

Для инъекционных материалов, предназначенных для остановки воды, кроме низкой вязкости также важно, чтобы их плотность была выше плотности воды. Но жизненный опыт показывает, что этих двух показателей не всегда бывает достаточно. Так, например, ртуть, имеющая плотность 13,6 кг/дм³ и динамическую вязкость 1,5 мПа·с, теоретически могла бы прекрасно заполнять трещины. Но, как известно, ртуть очень сложно проникает в тонкие швы и трещины, т. к. имеет высокий показатель поверхностного натяжения, который составляет примерно 476 мН/м. И это дает повод ввести необходимость учета показателя поверхностного натяжения при разработке инъекционных материалов. Для хорошей смачиваемости поверхности бетона в трещинах данный показатель должен быть близок или ниже поверхностного натяжения воды, который равен 72 мН/м.

Новое поколение эпоксидных и полиуретановых инъекционных смол компании MC-Bauchemie были разработаны с низким поверхностным натяжением. Если у стандартных инъекционных смол на эпоксидной основе поверхностное натяжение составляет примерно 38 мН/м, то у новой эпоксидной смолы MC-Injekt 1264 сопмаст он уже равен 24 мН/м. Такой материал можно использовать для глубокого заполнения трещин на горизонтальных или имеющих небольшой уклон бетонных поверхностях без использования принудительного нагнетания. Кроме этого, эту эпоксидную смолу можно инъектировать в мокрые железобетонные конструкции, в т. ч. и в водонесущие трещины (что, как правило, для эпоксидов не допускается).

В дополнение к стандартному ассортименту в 2011 г. компания MC-Bauchemie вывела на российский рынок компактную инъекционную систему MC-Fastpack, кото-

Система MC-Fastpack в работе





Комплект MC-Fastpack Power-Tool



Картриджи MC-Fastpack

рая позволяет упростить решение многих задач, требующих применения инъекционных технологий и расширить область их использования. Система MC-Fastpack наиболее эффективна при небольших объемах инъекционных работ, когда развертывание более крупного оборудования затруднено (например, при работе в стесненных условиях смотровых колодцев коммуникационных сетей) или экономически нецелесообразно, например, при небольших объемах работ.

Это полноценная инъекционная система, включающая в себя инъекционное оборудование MC-Fastpack Power-Tool, картриджи с инъекционными полиуретановыми и эпоксидными материалами, пакеры, а также материал для запечатывания трещин и приклеивания клеевых пакеров. Т. е. практически все, что необходимо для проведения инъекционных работ. Производителю работ необходимо только иметь перфоратор с буром диаметром 14 мм для установки забивных пакеров и компрессор с максимальным рабочим давлением 6 атм, который можно приобрести в любом строительном магазине.

Инъекционные материалы поставляются в виде готовых к применению картриджей для установки в пистолет MC-Fastpack Power-Tool и последующей инъекции в подготовленные пакеры. Их использование исключает необходимость предварительного смешивания компонентов. Как следствие – не нужно оборудование и дополнительная тара для смешивания, экономится время, нет потерь перемешанного материала вследствие превышения времени его жизни.

Картриджи значительно упрощают процесс производства работ. Отпадают многие технологические операции, которые требуются при стандартной инъекционной технологии, как, например, подготовка и промывка насоса с помощью масла и растворителей. Это позволяет исключить ошибки при смешивании компонентов и достичь наилучших параметров применяемых инъекционных материалов. А также экономить время и ис-

ключить затраты на промывочные средства. Автономная система, при которой исключается контакт со смолами и растворителями, обеспечивает безопасность рабочих и защиту окружающей среды.

Наибольший интерес к этому оборудованию проявили подрядные фирмы, специализирующиеся на инъекционных работах. Если раньше такому подрядчику были невыгодны мелкие заказы, то теперь появилась возможность их реализации. Ценна компактность оборудования, позволяющая легко и оперативно перемещать его с объекта на объект в багажнике легкового автомобиля. А выполнять небольшие объемы работ на объекте может один человек.

Другой группой строительных фирм, которые приобретают такое оборудование, являются подрядчики, специализирующиеся на ремонте бетона. Они часто сталкиваются с наличием в конструкциях небольших дефектов, которые можно устранить методом инъектирования. В таких случаях бывает невыгодно или часто невозможно привлечь специализированную фирму. Проще и дешевле выполнить эту работу самим.

Организации, эксплуатирующие крупные инженерные сооружения, например, службы тоннельных сооружений метрополитенов, имеющие собственные ремонтные бригады для обслуживания эксплуатируемых объектов, также часто используют компактное



Применение системы MC-Fastpack в метро Амстердама на линии Nord-Süd

инъекционное оборудование для выполнения текущего ремонта своих конструкций и сооружений. Их привлекает возможность собственными силами оперативно устранять различные дефекты бетонных конструкций без больших финансовых затрат.

Таким образом, появление на рынке нового поколения инъекционных материалов, а также использование компактной инъекционной системы MC-Fastpack заметно расширило возможности применения инъекционных технологий, позволило повысить эффективность, производительность и качество инъекционных работ.



ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НА ПРОЧНОСТЬ И ДИАМЕТР ГРУНТОЦЕМЕНТНЫХ КОЛОНН

А. Г. Малинин, И. Л. Гладков, А. А. Жемчугов, ООО «Строительная компания «ИнжПроектСтрой»

Технология струйной цементации грунтов получила широкое распространение при решении сложных задач в области подземного строительства.

Одной из таких задач является сооружение глубоких котлованов под защитой ограждения из грунтоцементных свай, например, для станций метрополитенов, стартовых и приемных котлованов для тоннелепроходческих машин. Несмотря на большое количество выполненных объектов, в настоящее время не существует нормативной базы по проектированию подземных конструкций с использованием струйной технологии, поэтому результаты любых полевых опытов представляют, на наш взгляд, значительный интерес для специалистов проектных и строительных организаций, работающих в этой области.



Рис. 1. Опытная площадка

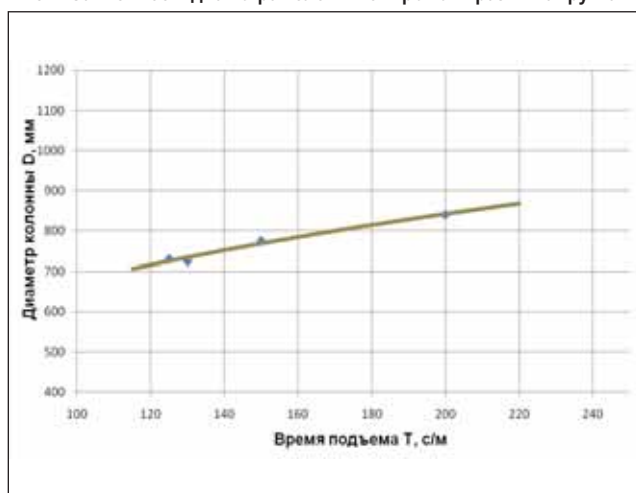
При проектировании ограждений глубоких котлованов, находящихся вблизи существующей городской застройки, необходимо использовать расчетные методики, учитывающие не только прочностные, но и деформационные свойства грунтоцемента. Данные характеристики в совокупности с диаметром грунтоцементных колонн определяют податливость и геометрическую изменяемость конструкции, что, в итоге, позволяет более точно оценить влияние строящегося котлована на прилегающие здания и сооружения.

В настоящей работе приведены результаты опытных работ, осуществленных на площадке строительства котлована для подземного паркинга в г. Перми. Уровень грунтовых вод расположен ниже дна котлована. Дан-

ные условия позволили провести расширенные опыты по устройству свай с последующей их откопкой для оценки диаметра колонн, выбуривания керна для определения прочности грунтоцемента. Поле грунтоцементных колонн показано на рис. 1.

Грунт на строительной площадке был представлен однородным массивом, состоящим из мелкого плотного песка ($g = 17,8 \text{ кН/м}^3$, $c = 7 \text{ кПа}$, $\phi = 27^\circ$). При устройстве опытных колонн изменяли основные тех-

Рис. 2. Зависимость диаметра колонны от времени размыва грунта



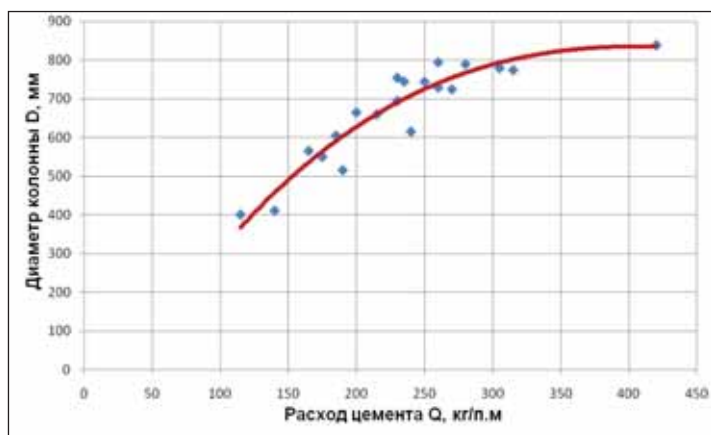


Рис. 3. Зависимость диаметра колонны от расхода цемента на 1 п. м

нологические параметры струйной технологии, выполняемой в однокомпонентном режиме: давление нагнетания – в пределах 10–50 МПа, водоцементное отношение – $ВЦ = 0,8-1,1$, время подъема монитора на 1 п. м скважины – 130–200 с.

Результаты исследований показаны на рис. 2–4.

Из анализа графиков следует, что диаметр свай существенно зависит от таких основных технологических параметров, как скорость подъема монитора, определяющая расход цемента на 1 п. м скважины (см. рис. 3), и давление нагнетания (см. рис. 4). В исследуемых диапазонах диаметр сформированных грунтоцементных колонн изменялся от 400 до 900 мм.

Влияние водоцементного отношения на исследуемые параметры незначительно и им можно пренебречь с учетом погрешности измерений в полевых условиях.

Для определения физико-механических свойств грунтоцемента из колонн были отобраны керны. В ходе лабораторных работ изготовили образцы цилиндрической формы для их испытания сжимающей нагрузкой с целью построения графической зависимости «напряжения – деформации» (рис. 5).

Предел прочности при растяжении определяют методом раскалывания шариковым индентером цилиндрических образцов с соотношением высоты образца и его диаметра $H = 0,1-0,25D$ (рис. 6). По результатам лабораторных исследований были построены графики зависимостей пределов прочности на одноосное сжатие, растяжение и модуля деформации от расхода цемента на 1 м³ укрепленного грунта (рис. 7).

Анализируя рис. 7а можно сделать вывод, что при увеличении расхода цемента наблюдается рост значения предела прочности, стремящегося к асимптотическому значению равному 22 МПа. По результатам лабораторных испытаний прочность грунтоцемента на растяжение составляет 5–10 % от

прочности на сжатие. На рис. 7б модуль деформации изменяется линейно от 1000 до 4000 МПа.

Выводы

При устройстве грунтоцементных колонн в песчаных грунтах оптимальным диапазоном расхода цемента является 650–750 кг/м³. Дальнейшего повышения прочности с увеличением расхода цемента не наблюдается. При этом модуль деформации грунтоцемента составит 2200 МПа.

В процессе выполнения расчетов и проектирования правильное назначение таких характеристик, как прочность и модуль деформации грунтоцемента позволяет наиболее оптимально подобрать конструкцию, шаг колонн, их длину и диаметр.

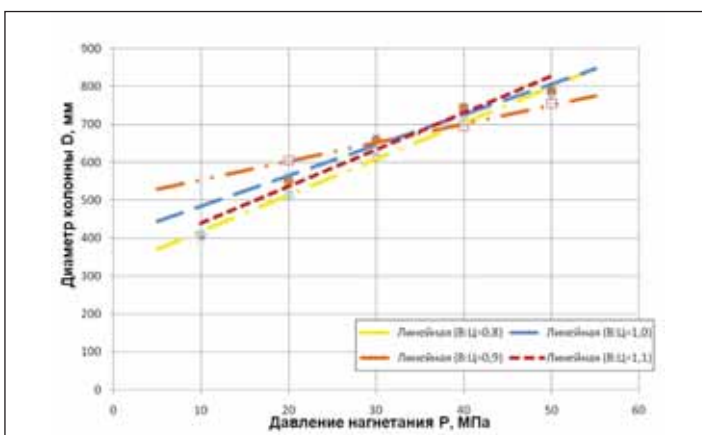


Рис. 4. Зависимость диаметра колонны от давления нагнетания цементного раствора с различным водоцементным отношением

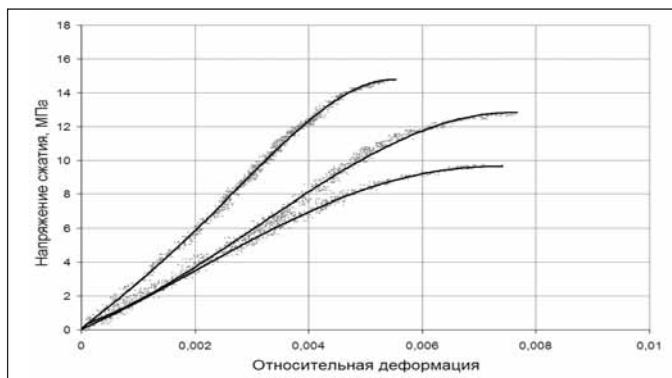
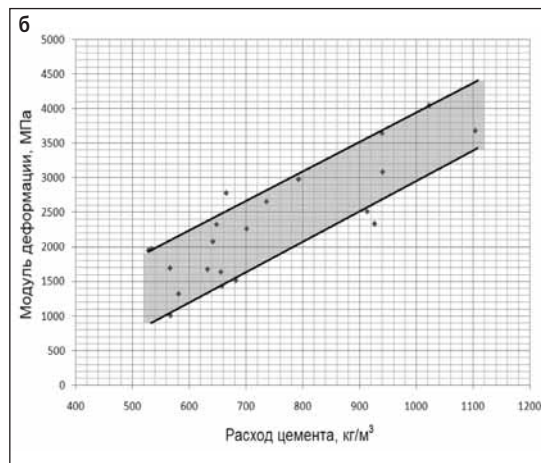
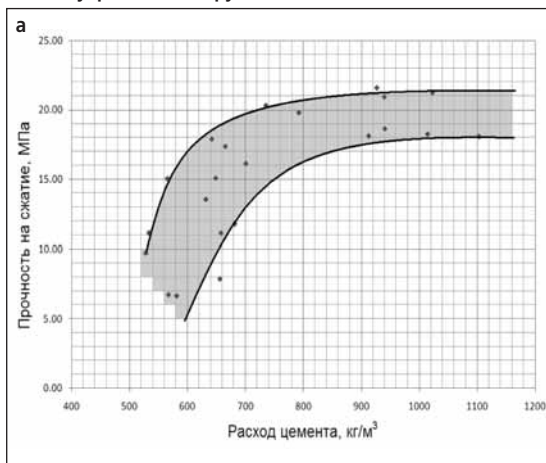


Рис. 5. Диаграммы $\sigma - \epsilon$



Рис. 6. Определение прочности образцов: а – на сжатие; б – на растяжение

Рис. 7. Зависимость прочности грунтоцемента на одноосное сжатие (а) и модуля деформации (б) от расхода цемента на 1 м³ укрепленного грунта



ЭЛЕКТРОПРИВОД С АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С СОВМЕЩЕННЫМИ ОБМОТКАМИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

В. Н. Дейнего, руководитель проекта по светодиодному освещению, ООО «Новые энергетические технологии»

Московский метрополитен ждут масштабные изменения: должны появиться 35 новых станций метро, и в течение ближайших пяти лет на его модернизацию будет выделено до 450 млрд руб. Кроме того, для решения проблем, которые существуют у метрополитена, в том числе плохой вентиляции и устаревших вагонов, в ближайшее время планируется закупить новые составы с современной системой кондиционирования и внедрить светодиодное освещение. Это традиционный современный набор общепромышленных мероприятий по повышению энергосбережения и комфорта.

Метрополитен является подземной транспортной системой и это накладывает свои особенности на решение проблемы энергосбережения и улучшения комфорта для пассажиров.

Московский метрополитен потребляет около 1,8 млрд кВт·ч электроэнергии в год, которая направлена на поддержание его функционирования, а часть реактивной мощности – на разрушение его электро- и технических систем. Главными источниками реактивной мощности являются асинхронные двигатели, люминесцентные, энергосберегающие и светодиодные лампы, индуктивные, полупроводниковые блоки электропитания и полупроводниковые преобразователи напряжений, частоты и т. п.

При реализации предложений по улучшению комфорта пассажиров и энергосбережению необходимо уменьшать эту долю реактивной мощности и оценивать эффективность мероприятий через риски запуска опасных процессов, таких как деградация изоляции, ускорения процессов коррозии металлоконструкций, дополнительный разогрев внутреннего объема воздуха и радиопомехи, электромагнитный смог, негативное влияние спектра света на работников и пассажиров и т. д.

Приведу примеры.

1. Установка кондиционеров в каждом вагоне приведет к увеличению числа нелинейной нагрузки (асинхронных двигателей, об-

щее количество которых увеличится более чем на 4000 шт.) в сети и выбросу дополнительного тепла в тоннель, которое прибавится к теплу, выделяемому при торможении состава. Готова ли электросеть вагона и система вентиляции к такому дестабилизирующему воздействию? Пожелание из офиса трудно выполнимо в подземке. Значит нужно ставить в каждый вагон систему по утилизации тепла от кондиционера, превращать его в электричество и утилизировать, а это габариты вагона и его аэродинамическое сопротивление. Такая система кондиционирования малоэффективна из-за часто открываемых дверей на остановках. При этом, чем меньше временной интервал между остановками и больше перевозится пассажиров в вагоне, тем меньше эффективность системы кондиционирования, а энергию она потребляет и тепло выделяет.

2. Желание улучшить информированность пассажиров приводит к сосредоточению на эскалаторах большого количества рекламы с подсветкой от люминесцентных ламп с электронным ПРА, а это ведет к увеличению общего тока утечек, протекающего по металлической арматуре бетонных конструкций и, как следствие, к ее коррозии и вскрытию гидроизоляции. Наличие влаги ускоряет ее появление и вызывает возрастание риска обрушения свода (бетонных конструкций).

3. В целях энергосбережения замена в тоннелях ламп накаливания общепромышленными люминесцентными или энергосберегающими и светодиодными приводит к протеканию по цепям питания токов высших гармоник (радиопомех), а по светотехническим параметрам к ухудшению условий визуального контроля технического состояния пути и элементов конструкции тоннеля.

Главной особенностью внедрения мероприятий по энергосбережению и улучшению условий комфорта для пассажиров на метрополитене является исключение условий для возникновения опасных рисков.

Исходя из этого, оценим существующие мероприятия и рассмотрим возможные на-

правления по энергосбережению. Московское метро потребляет около 5 млн кВт·ч электроэнергии ежедневно. Остальные метрополитены меньше, но соотношения по долям потребления электроэнергии между потребителями внутри метрополитена приблизительно одинаковы. Основными потребителями электрической энергии на метрополитене являются:

- электротяга поездов – доля расхода электроэнергии для движения поездов составляет около 67 % (75 %) от общего её потребления. Тяговая нагрузка отличается большой неравномерностью, значительными, но кратковременными токами при пуске поезда, изменением нагрузки в течение суток с максимальным значением в часы пик;

- электроприводы эскалаторов, требующие около 6 % от общего расхода электроэнергии; характер нагрузки достаточно стабилен, кроме момента запуска эскалатора, особенно с пассажирами на подъём, когда пусковая мощность превышает номинальную в два-три раза;

- устройства автоматики и телемеханики движения поездов, нагрузка и расход энергии которыми сравнительно малы, но значение их для обеспечения графика и безопасности движения велико;

- освещение станций, вестибюлей, переходов, служебных помещений, на которое расходуется примерно 10 % электроэнергии. Освещенность должна соответствовать санитарным нормам и требованиям архитектурного оформления станций. В настоящее время на них в основном применяются более экономичные люминесцентные, ртутные и натриевые лампы, для освещения тоннелей – лампы накаливания, а стрелок – люминесцентные;

- вентиляционные и насосные установки, потребляющие около 10 % электроэнергии;

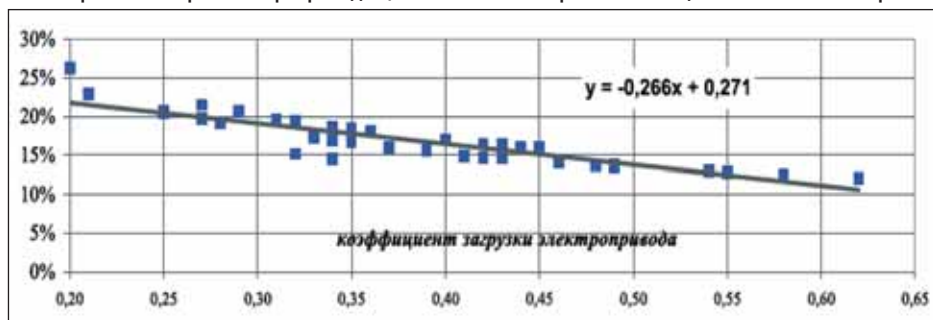
- предприятия, обеспечивающие содержание и ремонт сооружений и устройств хозяйства метрополитена, потребляют около 4 % электроэнергии;

- силовые нагрузки на станциях и в тоннелях (уборочные машины, электроинструменты, сварочные аппараты, механизмы для путевых и других работ и т. д.).

Основными потребителями электрической энергии в основных системах метрополитена являются электроприводы и асинхронные двигатели. На них приходится около 90 % потребления электроэнергии.

Асинхронный двигатель вытесняет двигатели постоянного тока и становится основным на метрополитене. Он применяется в электроприводе на вагонах серии 81-740/741

Рис. 1. Уровень потерь в электроприводе 0,4 кВ относительно реальной мощности в момент измерения



«Русич». Эта модель вагонов серийно выпускается заводом ОАО «Метровагонмаш» с 2003 г. На 2011 г. их объем составляет 10 % от общего числа составов метрополитена Москвы, 43 % – метро Казани.

На Московском метрополитене эксплуатируется более 7115 шт. асинхронных двигателей. Из-за низких значений $\cos(\varphi)$ в широком диапазоне нагрузок они являются главным источником некомпенсированной реактивной мощности в электросети метрополитена. От их режима работы (величины пусковых токов, частоты включения, коэффициента загрузки и т. д.) зависит качество электроэнергии в электросети. Одним из основных его показателей является отклонение напряжения и наличие гармоник в фазах и в нулевой шине.

Влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования

Технологические установки:

- при снижении напряжения существенно ухудшается технологический процесс, увеличивается его длительность из-за сбоев;
- при повышении напряжения снижается срок службы оборудования, повышается вероятность аварий.

Освещение:

- при величине напряжения $1,1U_{ном}$ срок службы ламп накаливания сокращается в 4 раза;
- при напряжении $0,9U_{ном}$ снижается световой поток ламп накаливания на 40 % и люминесцентных – на 15 %;
- при величине напряжения менее $0,9U_{ном}$ люминесцентные лампы мерцают, а при $0,8U_{ном}$ просто не загораются.

Электропривод:

- при уменьшении напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя на 15 % момент снижается на 25 %. Двигатель может не запуститься или остановиться;
- при снижении напряжения увеличивается потребляемый от сети ток, что влечёт разогрев обмоток и снижение срока службы двигателя. При длительной работе на напряжении $0,9U_{ном}$ он снижается вдвое;
- при повышении напряжения на 1 % потребляемая двигателем реактивная мощность увеличивается на 3–7 % и снижается эффективность работы привода и сети.

Искажения (возмущения), вносимые гармониками

Гармоники, генерируемые источниками, не остаются в системе, а проявляются в соседних связанных электросетях и могут приводить к катастрофическим последствиям в других системах:

- перегрев и выход из строя трансформаторов;
- увеличение тока или перегрузка током конденсаторов и шум;
- сбой в работе систем контроля;
- изменение напряжения;
- перегрузка вращающихся устройств;

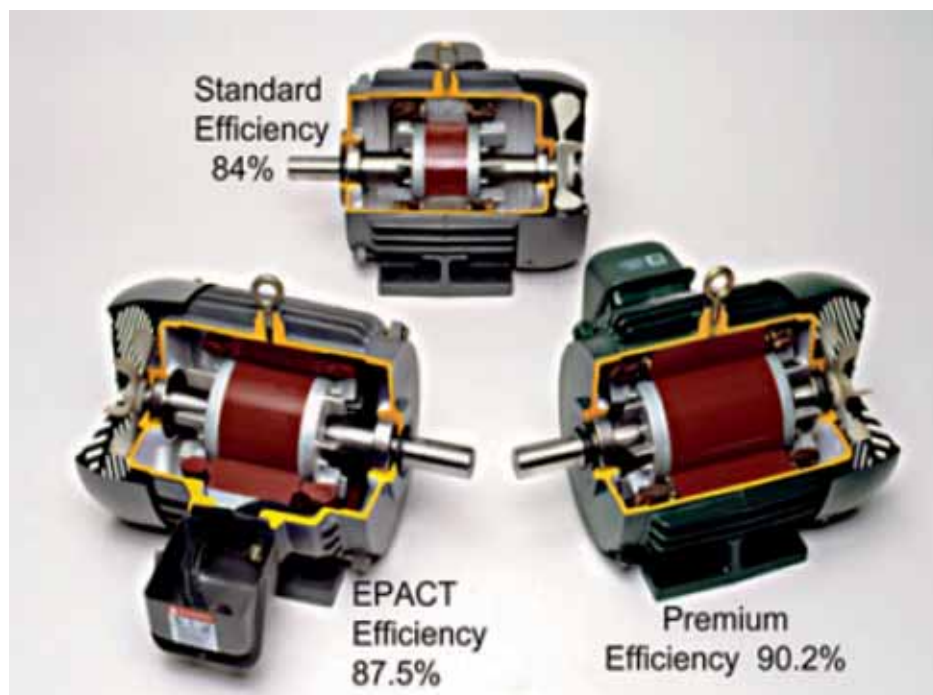


Рис. 2. Асинхронные двигатели

- ошибки срабатывания автоматических выключателей;
- ошибки в коммуникационном оборудовании;
- большой ток в нейтрали и низкое напряжение между фазой и РЕ.

В связи с отсутствием информации об энергоаудите на метрополитенах, рассмотрим как влияет коэффициент загрузки асинхронного двигателя на процесс энергосбережения.

На рис. 1 приведены обобщенные данные потерь электроэнергии из-за недогрузки асинхронного двигателя, из которых следует, что при уменьшении коэффициента загрузки двигателя возрастают потери электроэнергии. Это происходит потому, что энергосберегающий режим работы асинхронного двигателя находится в узком диапазоне изменений коэффициентов загрузки и полезного действия и $\cos(\varphi)$.

В мировой практике к настоящему времени сформировалось несколько основных направлений, по которым интенсивно ведутся исследования, разработки, осуществляются крупные промышленные проекты по созданию энергосберегающего электропривода.

В нерегулируемом электроприводе, реализованном на основе асинхронных электродвигателей с к. з. ротором, много внимания уделяется так называемым энергоэффективным двигателям, в которых за счет увеличения массы активных материалов, их качества, а также за счет специальных приемов проектирования удается поднять на 1–2 % (для мощных двигателей) или на 4–5 % (для не мощных двигателей) номинальный КПД при некотором увеличении цены двигателя.

Этот подход, используемый и активно рекламируемый с 70-х годов сначала в США,

затем в Европе, может приносить пользу, если технологический процесс действительно не требует регулирования скорости, нагрузка меняется мало, а двигатель правильно выбран. Во всех других случаях использование более дорогих энергоэффективных двигателей может оказаться нецелесообразным.

На рис. 2 показана эволюция в разработке современных асинхронных двигателей.

Двигатели с меньшим ротором имеют незначительную эффективность, в то время как с большим являются «Премиум» типа. Чем больше размеры двигателя, тем больше его эффективность по энергосбережению.

Это привело к необходимости разработки новых стандартов на размеры асинхронных двигателей. На рис. 3 приведены результаты сравнения по коэффициенту полезного действия ряда асинхронных двигателей.

Благодаря существенному росту КПД в сравнении со стандартными асинхронными двигателями, энергосберегающие модели позволяют снизить эксплуатационные расходы и расходы на электроэнергию.

Правильный выбор двигателя для конкретного технологического процесса – один из важнейших путей энергосбережения. В европейской практике принято считать, что средняя нагрузка двигателей составляет 0,6, тогда как в нашей стране, где недавнего времени не было принято экономить ресурсы, этот коэффициент составляет 0,3–0,4, т. е. привод работает с КПД значительно ниже номинального. Завышенная «на всякий случай» мощность двигателя часто приводит к незаметным на первый взгляд, но очень существенным отрицательным последствиям.

Основной путь энергосбережения – это переход от нерегулируемого к регулируемому электроприводе. Этот процесс стал в последние годы основным в связи с появлени-

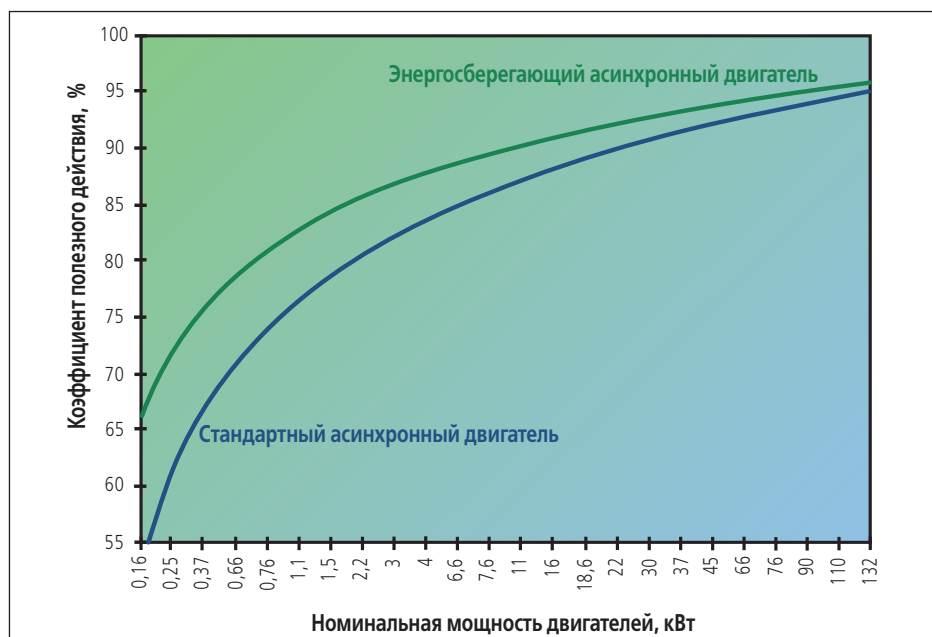


Рис. 3. Результаты сравнения по коэффициенту полезного действия ряда асинхронных двигателей

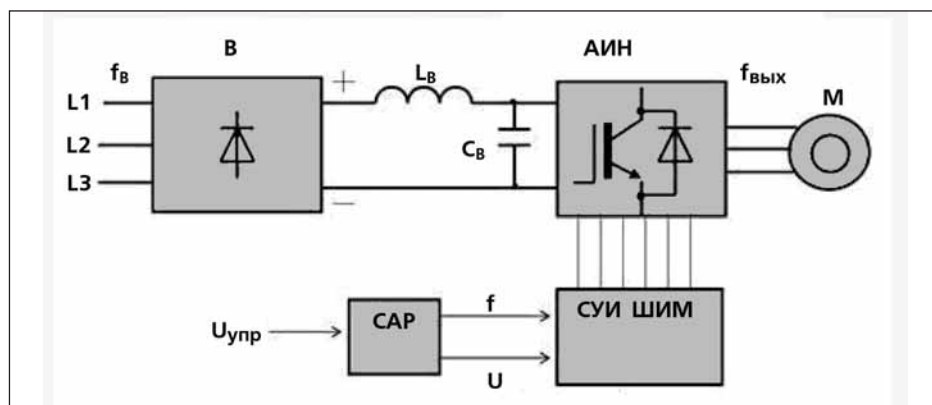


Рис. 4. Типовая схема частотно-регулируемого электропривода с асинхронным двигателем

ем доступных технических средств – преобразователей частоты (рис. 4).

В современных преобразователях частоты благодаря развитию современной элементной базы (микропроцессоры, IGBT-транзисторы) при широтно-импульсной модуляции форма токов в обмотках статора асинхронного двигателя близка к синусоидальной благодаря фильтрующим свойствам самих обмоток.

Преобразователи частоты работают на стандартный асинхронный двигатель – нелинейная нагрузка. Их надежная работа – отдельная проблема. Но ясно одно, чем ближе форма электромагнитных процессов в асинхронном двигателе к синусоидальному закону, тем выше степень их гармонизации и надежности.

Преобразователь частоты является источником высокочастотных помех, и сам по цепи управления очень чувствителен к их воздействию. Его полупроводниковые приборы IGBT-транзисторы устанавливаются на радиатор, который является дополнительным источником тепла в замкнутом пространстве метрополитена. Применение его в пространственно открытых системах РЖД и трамваях – не проблема.

Приведенные выше способы повышения энергосбережения приводом с асинхронным двигателем являются материально затратными, и для их реализации нужны объемы пространства и воздуха для охлаждения их тепловыделяющих элементов.

Использование асинхронного двигателя на подвижном составе позволяет реализовать идею рекуперации энергии торможения состава в электрическую. Такой способ повышения энергосбережения можно реализовать на 14 % асинхронных двигателях от их общего числа на метрополитене.

В вагонах метро с асинхронным приводом модели 81-553/554/555 в тормозном режиме предусмотрена возможность рекуперации электроэнергии в сеть. В середине 60-х годов японские машиностроители выпустили новые вагоны с тиристорно-импульсным регулированием и рекуперативным торможением. В этих вагонах нашел широкое применение тяговый двигатель с независимым возбуждением, имеющий хорошие коммутационные характеристики. Такой двигатель с компенсационной обмоткой имеет высокую тормозную характеристику и возвращает в сеть до 80 % генерируемой электроэнергии. Мощность такого двигателя – 120 кВт.

Чем выше КПД и лучше электромагнитные характеристики (синусоидальная форма магнитного поля в зазоре) асинхронного двигателя, тем выше его КПД рекуперации. При этом форма тока имеет минимальный набор гармоник, что соответствует высокому качеству генерируемой в сеть электроэнергии и при этом минимальные ее потери в тепло.

Из выше сказанного следует, что нужно улучшать характеристики 100-летнего асинхронного двигателя, чтобы сэкономить до 25–30 % электроэнергии без увеличения габаритов, применения ЧРП и повышать его КПД рекуперации.

В течение многих десятилетий в подходах к расчету асинхронных двигателей используется постулат об идентичности синусоидальной формы потока магнитного поля и его равномерности под всеми зубцами статора. Исходя из этого, расчеты велись для одного зубца статора, а машинное моделирование проводилось исходя из выше указанных предположений. Нестыковки между расчетными и реальными моделями работы асинхронного двигателя компенсировались применением большого числа поправочных коэффициентов. При этом расчет проводился для номинального режима работы асинхронного двигателя.

Современные исследования и измерения формы магнитного поля показали, что оно не синусоидально.

Критически пересмотрев основные постулаты и допущения, принимаемые при расчетах асинхронных двигателей, предложен инновационный подход.

Суть нашего нового подхода заключается в том, что проводился повременный срез мгновенных значений магнитного потока для каждого зубца на фоне распределения поля всех зубцов. Пошаговый (повременный) и кадровый срезы значений магнитного поля для всех зубцов статора серийных асинхронных двигателей позволили установить следующее:

- поле на зубцах имеет не синусоидальную форму;
- поле поочередно отсутствует у части зубцов;
- не синусоидальное по форме и имеющее разрывы в пространстве магнитное вращающееся поле формирует такую же структуру тока в статоре.

С учетом данного подхода в течение ряда лет были проведены многочисленные измерения и расчеты мгновенных значений магнитного поля в пространстве асинхронных двигателей различных серий. Это позволило отработать новую методологию расчета магнитного поля и наметить эффективные пути по улучшению основных параметров асинхронных двигателей.

В рамках трехфазной сети для улучшения характеристик вращающегося магнитного поля был предложен очевидный способ – это повышение числа фаз путем смешанного включения обмоток «звезды» и «треугольника». Этот метод применялся и ранее

целым рядом ученых и талантливых инженеров, но они шли эмпирическим путем в рамках допущений по М. О. Доливо-Добровольскому.

В настоящее время на электрическую машину с совмещенными обмотками получен патент РФ.

Проведенные измерения в центрах и заводских лабораториях характеристик асинхронного двигателя с совмещенными обмотками и их сравнение с серийным аналогом показали следующее:

- значительно меньшие пусковые токи;
- повышенный пусковой момент;
- механическая характеристика близка к экскаваторной;
- более высокий КПД и $\cos(\varphi)$ в широком диапазоне нагрузок;
- меньший уровень электромагнитных и механических шумов;
- на 20–30 °С меньший нагрев;
- пониженное потребление электроэнергии;

На рис. 5 приведены для сравнения механические характеристики асинхронных двигателей (до и после доработки).

Снижение уровня электромагнитных, механических шумов и вибрации обусловлено тем, что совмещенные обмотки подавляют нечетные высшие гармоники поля и токов. Улучшена и форма поля в воздушном зазоре и магнитопроводах. За счёт более равномерного распределения уменьшена нагрузка и вибрация в лобовых обмотках. Благодаря большому секционированию усилена изоляция обмоток и уменьшено межвитковое напряжение. Для высоковольтных АД повышена стойкость к коронированию в лобовых частях.

Совмещенные обмотки можно установить практически на любой трёхфазный АД в процессе капремонта или изготовления. Такую работу можно выполнять в условиях действующих предприятий в ходе ремонта эксплуатируемого парка АД. Такая модернизация для предприятий безболезненна и не требует значительных капитальных затрат.

В то же время, модернизируя наиболее энергоёмкие АД, предприятия в кратчайшие сроки имеют возможность снизить потребление электроэнергии. Это наиболее дешёвый способ добиться сокращения потребления электроэнергии и расхода меди.

Экономия электроэнергии, при той же полезной работе, достигает 30–50 % за счет того, что КПД и $\cos$ имеют высокие значения в широком диапазоне нагрузок (рис. 6).

В настоящее время проходит регистрацию лицензионный договор с предприятием ОАО «УралЭлектро» на право серийного выпуска энергосберегающих асинхронных двигателей с совмещенными обмотками.

Выводы

• При внедрении общепромышленных методов повышения энергосбережения и комфорта пассажиров необходимо учитывать особенности метрополитена. В условиях ог-

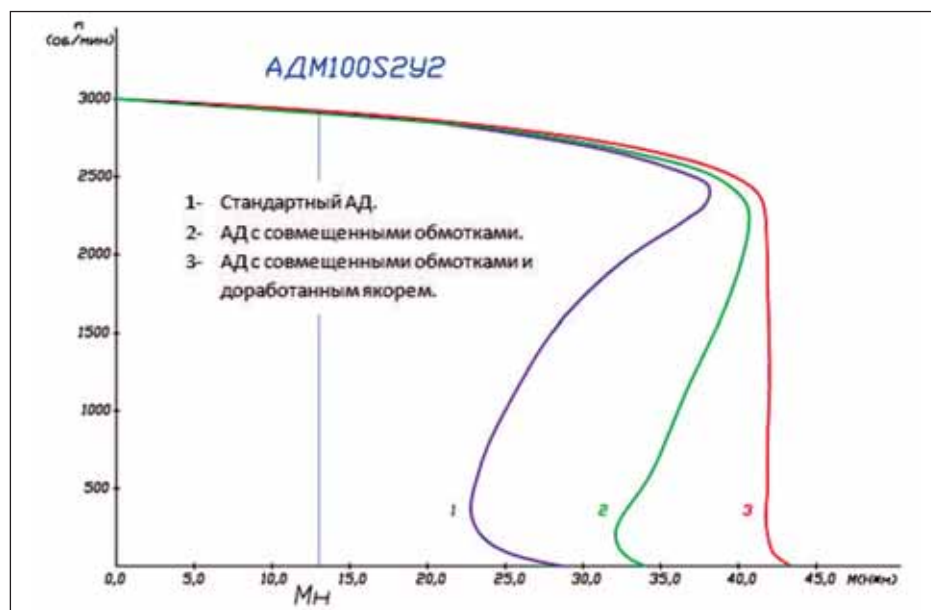


Рис. 5. Механические характеристики асинхронных двигателей

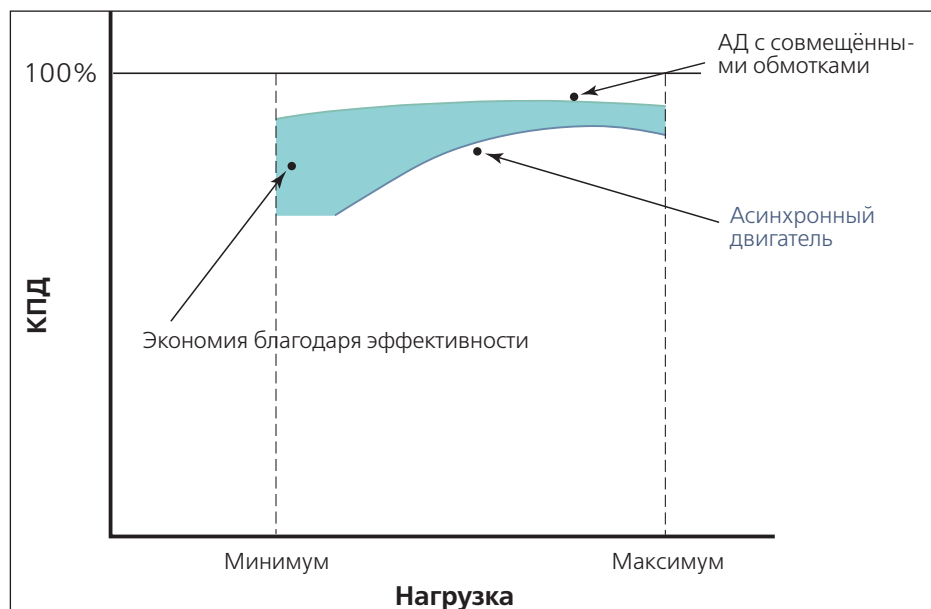


Рис. 6. Экономия электроэнергии в широком диапазоне нагрузок асинхронного двигателя

раниченного пространства все процессы – электромагнитные, тепловые (в электросети, в рельсах, в окружающем воздухе, в системах СЦБ, кондиционирования и т. п.) и массопереноса (вагонов по рельсам с короткими временными интервалами, износа рельс, масс воздуха, потока пассажиров и т. д.) тесно взаимосвязаны и имеют многоуровневые положительные обратные связи, которые влияют на устойчивость их протекания. Ее потеря приводит к возникновению опасных рисков и аварийных ситуаций. Это взаимовлияние процессов в ограниченном пространстве в значительной степени отличает метрополитен от других транспортных систем (железнодорожной, трамвайной и т. п.), которые являются энергетически и пространственно открытыми.

• Исходя из особенностей метрополитена, должны отрабатываться требования к общепромышленным электротехническим изделиям и системам:

- блоки питания для осветительных систем должны иметь повышенные значения КПД, фактора мощности и $\cos(\varphi)$, повышенный ресурс работы, очень низкий уровень радиопомех и т. д.;

- осветительные приборы должны обладать спектром излучаемого света и коэффициентом цветопередачи как у лампы накаливания или галогенной и иметь эффективность более 150 лм/вт при цветовой температуре менее 3000К. При этом они не должны слепить и отрицательно влиять на здоровье человека;

- асинхронный двигатель для метрополитена должен иметь по сравнению с общепромышленным двигателем повышенное КПД и $\cos(\varphi)$ в широком диапазоне нагрузок, значительно меньшие пусковые токи, повышенный пусковой момент и т. д.

• Этим требованиям соответствуют светодиодные лампы с удаленными люминофорами и асинхронные двигатели с совмещенными обмотками.

ОПЫТ НАСТРОЙКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ ВОМД-24 НА СТ. «СИБИРСКАЯ» НОВОСИБИРСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

А. М. Красюк, И. В. Лугин, Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск
А. Н. Чигишев, МУП «Новосибирский метрополитен»

Основным звеном системы жизнеобеспечения подземных транспортных сооружений метрополитена является вентиляция, механическая составляющая которой осуществляется тоннельными вентиляторными агрегатами. Для проветривания Новосибирского метрополитена, как и в большинстве метрополитенов РФ и стран СНГ, эксплуатируются вентиляторные агрегаты ВОМД-24 и ВОМД-24А (далее по тексту ВОМД-24) производства Артемовского машинозавода мощностью от 45 до 70 кВт. Их энергопотребление при круглосуточной подаче расчетного количества воздуха уступает только энергопотреблению подвижного состава и достигает 0,9-1,2 млн кВт·ч в год на 1 км линий метрополитена. Среднее значение эксплуатационных КПД вентиляторных агрегатов действующих метрополитенов составляет 0,19–0,33, т. е. более 70 % потребляемой электроэнергии приходится на потери. В этой связи, бюджеты городов несут значительный ущерб, который, при исчислении в энергопотерях, может достигать 200–750 тыс. кВт·ч на 1 км действующей линии метро в год.

Основной причиной низкой экономичности тоннельных вентиляторов является то, что их аэродинамические характеристики не соответствуют требованиям обслуживаемых участков вентиляционной сети, особенно в метрополитенах мелкого заложения. Вентиляторы ВОМД-24 имеют высокое номинальное статическое давление в расчетной точке (свыше 400 Па). При этом участки вентиляционных сетей с требуемым статическим давлением в штатных одиночных режимах ниже 200 Па, которых более 99 %, проветриваются вентиляторами, работающими со статическим КПД менее 0,2. Аэродинамическая характеристика ВОМД-24 приведена на рис. 1, где также показаны аэродинамические характеристики вентиляционной сети станций Новосибирского метрополитена: самая низконапорная (при одиночной работе вентиляторов) и высоконапорная (при совместной работе вентилятора).

В соответствии с требованиями СП 32-105-2004 «Метрополитены» схема тоннельной вентиляции, а следовательно и вентилятор ВОМД-24, могут работать как в прямом, так и в реверсивном режиме. Низкие показатели производительности (Q , м³/с) и КПД в реверсивном режиме обусловлены тем, что лопасти рабочего колеса (РК) вентилятора набегают на воздушный поток задней кромкой. При этом нарушается условие безотрывности и безударности тече-

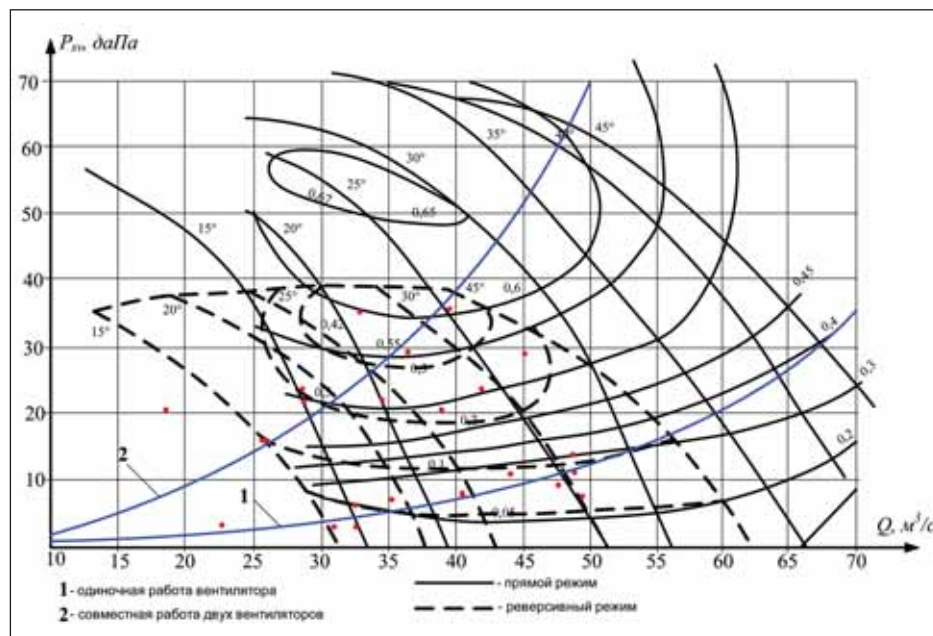


Рис. 1. Фактические аэродинамические характеристики ВОМД-24 по данным техотчета ЦАГИ «Разработка методики и проведение аэродинамических испытаний осевых реверсивных двухступенчатых вентиляторов ВОМД-24 в условиях эксплуатации на линиях Московского метрополитена»

ния потока, что приводит к росту аэродинамических потерь энергии. На показатели аэродинамического качества вентилятора также существенное влияние оказывает положение лопаток спрямляющего (СА) и спрямляюще-направляющего (СНА) аппаратов. Лопасти аппаратов могут находиться в трех положениях: «прямая работа», «реверсивная работа» и «шибер» при остановке вентилятора. Рассогласование углов взаимного расположения лопаток РК, СА и СНА ведет к еще большему снижению производительности и КПД вентилятора по сравнению с прямым режимом работы.

Согласно СП 32-105-2004 «Метрополитены», п.5.8.1.2.1: «Схемы вентиляции принимать однонаправленными — с круглогодичной подачей наружного воздуха в перегонные тоннели или на станции либо реверсивными — с сезонной подачей наружного воздуха в перегонные тоннели или на станции с удалением воздуха, соответственно, со станций или из перегонных тоннелей. Допускается применение иных схем вентиляции, обеспечивающих реализацию нормируемых требований во всех эксплуатационных режимах». В соответствии с проектом первой очереди Новосибирского метрополитена, предполагалось два режима работы тоннельной вентиляции: зимний и летний. Практика эксплуатации показала, что зимой при отрицательных температурах атмосферного воздуха тоннельные вентиляторы

необходимо выключать, чтобы не переохлаждать подземные сооружения. Летний режим работы вентиляционной системы традиционно был запроектирован как для метрополитенов глубокого заложения: станционные вентиляторы включались на приток, а перегонные на вытяжку.

Исследования Института горного дела СО РАН (ИГД СО РАН) показали, что для Новосибирского метрополитена мелкого заложения наиболее эффективной схемой работы тоннельной вентиляции является такая, при которой станционные вентиляторы работают на вытяжку, перегонные выключены, а их спрямляющие и спрямляюще-направляющие аппараты открыты. В соответствии с проектом, станционные вентиляторы ВОМД-24 установлены так, что на вытяжку они работают в реверсивном режиме, т. е. с низким КПД (см. рис. 1). Для повышения эффективности работы тоннельной вентиляции потребовалось перенастроить станционные вентиляторы для работы на вытяжку в прямом режиме. С 2001 г. Новосибирский метрополитен перешел на новую однонаправленную схему вентиляции, упомянутую выше. Это позволило сократить на 32–46 % расход электроэнергии на тоннельную вентиляцию. При этом удалось повысить эффективность и надежность работы вентиляции в аварийных ситуациях (при задымлении станций), т. к. отсутствует необходимость реверсирования станционных венти-

ляторов. Это обусловлено совпадением направления движения потоков воздуха через вентиляторы при штатном и аварийном режимах (дымоудалении). При этом Институтом горного дела совместно с Новосибирским метрополитеном были проведены исследования и решены следующие задачи для повышения экономичности работы вентиляторов ВОМД-24 в условиях принятой схемы тоннельной вентиляции:

- снизить потери энергии, связанные с отрывным течением воздушного потока в вентиляторе, путем разворота лопаток РК на 180° , при этом угол установки лопаток должен составлять $35^\circ + 180^\circ = 215^\circ$;
- согласовать углы установки лопаток СА и СНА в режиме их работ в качестве лопаток направляющего аппарата (НА) путем настройки на оптимальную производительность;
- провести сравнительную оценку экономичности работы вентиляторов до и после настройки их лопаточной системы. Важным этапом работ была настройка режима параллельной работы вентиляторов. Такой режим используется в случаях аварийного задымления станций.

Производительность вентилятора определяется через косвенное измерение скорости воздуха путем измерения динамического давления в нескольких точках сечения проточной части вентилятора (в средних линиях колец с равновеликими площадями).

При разбиении проточного сечения на три кольца равной площади, их средние линии оказываются на расстояниях 65, 210 и 380 мм от внешней стенки коллектора. С учетом этих размеров по рекомендациям ЦАГИ были изготовлены измерительные осредняющие приемники полного давления, скомбинированные с приемниками статического давления в этих сечениях. Замеры динамического давления, как разность полного и статического, проведены дифференциальным манометром ДМЦ-01 (рис. 2).

После замеров перепада статического давления в нагнетательной и всасывающей камере определяется рабочая точка вентилатора.

Затем производятся замеры тока и напряжения в трех фазах кабеля, питающего электродвигатель вентилятора, и определяется эксплуатационный КПД вентиляторного агрегата.

$$\eta_{sv} = \frac{Q \cdot P_{sv}}{N_{эд}},$$

где $N_{эд}$ – потребляемая мощность электродвигателя, Вт;

P_{sv} – статическое давление вентилятора, даПа;

Q – производительность вентилятора, м³/с.

По завершении измерений на первом вентиляторе, включается в параллельную работу второй вентилятор ВОМД-24, и проводятся все замеры и расчеты, описанные выше. За-

тем выключается первый вентилятор, и вновь ведутся все замеры и расчеты на втором.

По результатам анализа рабочих параметров и КПД вентилатора проводятся настройки лопаточной системы путем разворота лопаток рабочих колес и колес СА и СНА. Настройка вентиляторов осуществлялась на максимальную производительность. Это обосновано необходимостью выполнения аварийного режима работы вентиляции с наибольшим расходом через венткамеру. Вентиляторы ВОМД-24 не могут на ходу изменять свой расход, поэтому в ущерб экономичности эксплуатации приоритетом является обеспечение безопасной эвакуации пассажиров при задымлении или загазовании станций.

В процессе ведения работ по развороту лопаток было установлено, что конструкция корпуса вентилятора не позволяет устанавливать рабочие лопатки на углы θ_k более 207° . Этому препятствуют ребра, соединяющие наружный цилиндрический корпус с втулкой. В связи с этим, было принято решение установить лопатки РК на максимально достижимые значения углов, которые обеспечивают беспрепятственное вращение РК. При этом (θ_k (рис. 3б) находится в интервале $198-207^\circ$ для различных вентиляторов.

Затем выставляются углы лопаток НА и СНА. Начальные значения углов соответствуют $\theta_{НА} \approx 105^\circ$; $\theta_{СНА} \approx 75^\circ$. На этом завершается этап предварительной настройки вентиляторов, и производятся повторные замеры и расчеты по определению аэродинамических параметров вентилатора.

Настройка положения лопаток аппаратов на оптимальный режим работы осуществляется на работающем вентиляторе в одиночном режиме. После определения производительности вентилятора, плавно изменяется угол установки лопаток НА ($\theta_{НА}$) в сторону увеличения до тех пор, пока производительность не достигнет наибольшего значения. При этом положении фиксируется кулачок исполнительного механизма аппарата МЭО. Таким образом, первая ступень вентилятора аэродинамически настроена. Затем изме-

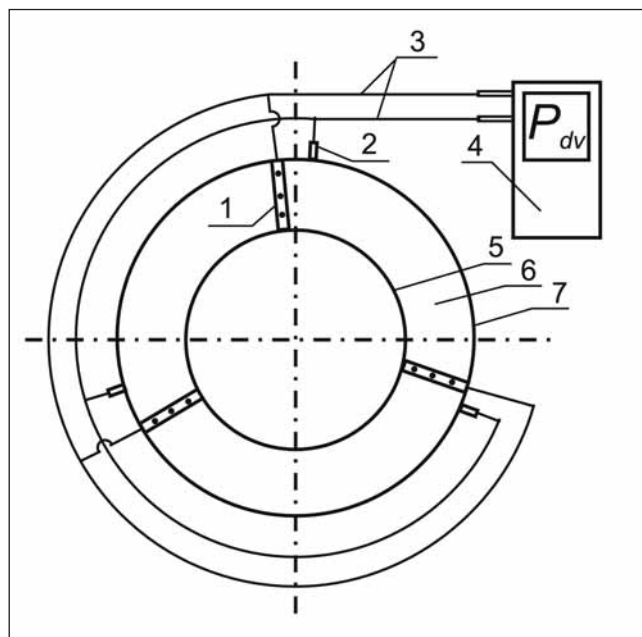


Рис. 2. Схема расположения в замерном пункте на входе в вентилятор: 1 – осредняющий приемник полного давления; 2 – приемник статического давления; 3 – резиновая трубка; 4 – дифференциальный манометр ДМЦ; 5 – втулка вентилятора; 6 – проточная часть; 7 – корпус вентилятора

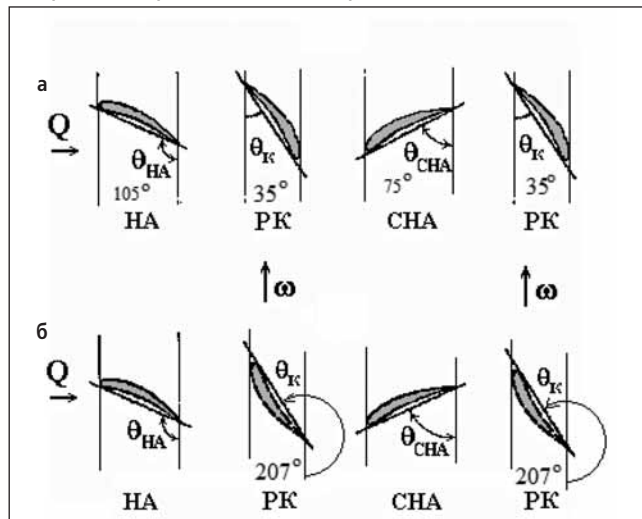
няется угол установки СНА так, чтобы получить максимальный расход. По достижении максимальной производительности вентилятора кулачок МЭО фиксируется. Теперь вентилятор настроен на максимальную производительность. Аналогичные работы проводятся на втором вентиляторе. После их настройки, определяются параметры Q , P_v и P_{sv} при совместной работе.

Настройка вентиляторных агрегатов на ст. «Сибирская» Новосибирского метрополитена

Работа по настройке вентиляторов производилась в ночное время, что позволило исключить влияние «поршневого эффекта» от движущихся поездов. При этом состояние переменных параметров вентиляционной сети было следующим:

- пешеходные переходы на станциях закрыты;

Рис. 3. Схема установки лопаток рабочего колеса (РК) и аппаратов: а – при штатной работе; б – после настройки



Таблица

Результаты аэродинамических замеров вентиляторов станций Новосибирского метрополитена

Параметр	Вентилятор	«Площадь Гарина-Михайловского»		«Сибирская»		«Красный проспект»		«Площадь Маркса»	
		до	после	до	после	до	после	до	после
Расход, м³/с	1В1	46,9	52,7	32,5	47,5	44	40,2	59,8	59,8
	1В1 с	19,8	43,9	25,8	37,2	38,6	33,0	45,7	38,5
	1В2 с	49,1	35,3	26,4	45,1	18,2	39,1	8,6	30,6
	1В2	57,3	43,4	32,5	49,2	23,2	47,6	21,5	52,4
Давление статическое, мм вод. ст.	1В1	10,8	12,8	6,7	9,5	10,7	8,4	17,3	17,3
	1В1 с	26,2	35,4	16,3	29,3	20,1	35,8	44,6	50,9
	1В2 с	26,2	35,4	16,3	29,3	20,1	35,8	44,6	50,9
	1В2	57,3	43,4	3,8	7,7	4,5	13,0	12,2	20,4
Мощность потребляемая, кВт	1В1	41,6	37,9	44,7	34,8	52,1	39,2	60,4	60,4
	1В1 с	42,0	40,3	45,3	37,5	53,3	42,3	65,0	63,9
	1В2 с	54,8	40,5	44,7	42,4	39,4	43,2	59,8	63,9
	1В2	55,6	38,6	44,1	40,0	39,4	42,5	59,2	62,1
КПД, %	1В1	11,9	14,4	4,8	12,7	8,9	8,4	16,8	16,8
	1В1 с	12,1	37,8	9,1	28,5	14,3	27,4	30,7	30,7
	1В2 с	23,0	30,2	9,4	30,5	9,1	31,8	6,3	23,9
	1В2	16,3	11,2	2,7	9,2	2,6	14,2	4,3	16,9

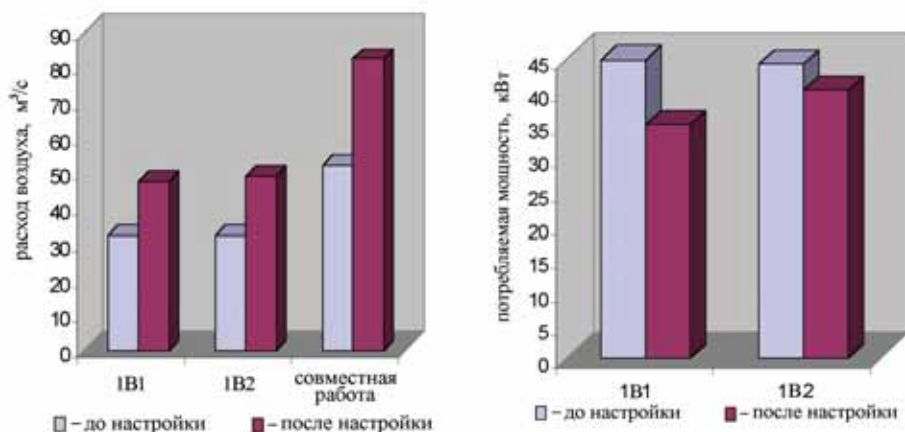
Примечание: с – режим совместной работы двух вентиляторов

• вентиляторы в венткамерах отключены, спрямляюще-направляющие аппараты у неработающих вентиляторов находятся в шибберном положении, т. е. закрыты.

После выполнения предварительных измерений аэродинамических и энергетических параметров, были вскрыты люки вентиляторов. При развороте лопаток РК выяснилось, что конструкция проточной части ВОМД-24 позволяет разворачивать рабочие лопатки на угол 204°. После разворота лопаток РК на обеих ступенях, были соответствующим образом повернуты лопатки СА и СНА. На этом завершился этап предварительной настройки вентиляторов и был проведен

комплекс измерений. Результаты замеров приведены в табл. Анализ режимов работы показал, что производительности вентиляторов отличаются при одиночной и параллельной работе на 25–28 %. Следовательно, требуется дополнительная настройка (согласование углов установки лопаток СА и СНА) для сближения показателей производительностей вентиляторов. Эта работа проводилась путем подбора углов установки аппаратов, при которых достигается максимальный расход воздуха. Результаты окончательной настройки параметров вентиляторов также приведены в табл. и на диаграмме рис. 4. В результате проведенных работ существенно

Рис. 4. Диаграмма изменения параметров работы вентиляторов в венткамере станции «Сибирская»



сократилось энергопотребление вентиляторов при одновременном увеличении их производительности. Так, у вентилятора 1В2 (выпуска 1987 г.) в одиночном режиме работы производительность возросла на 51 % с 32,5 до 49,2 м³/с, при этом энергопотребление снизилось на 4 кВт. Это объясняется тем, что эксплуатационный КПД вырос с 2,7 до 9,2 %. За шесть месяцев, в течение которых работает тоннельная вентиляция Новосибирского метрополитена, экономия составит 17300 кВт·ч. У вентилятора 1В1 (заводской № 74, 1987 г.) производительность возросла на 46 %, КПД – в 3 раза с 4,8 до 12,7 %, а энергопотребление снизилось на 9,9 кВт. За шесть месяцев, в течение которых работает тоннельная вентиляция Новосибирского метрополитена, экономия составит 43200 кВт·ч. В дальнейшей эксплуатации было рекомендовано использовать, при штатном режиме проветривания, вентилятор 1В1, т. к. он имеет более высокий КПД при одиночной работе, а следовательно, и более низкое энергопотребление (на 22500 кВт·ч за сезон).

При работе вентиляторов в параллельном режиме, который включается при реализации противопожарных мероприятий, их совместная производительность выросла на 57 % с 52,2 до 82,3 м³/ч. При этом суммарная потребляемая мощность снизилась с 90 до 79,8 кВт, что объясняется повышением КПД, при параллельной работе, вентилятора 1В1 с 9,1 до 28,5 %, а вентилятора 1В2 с 9,4 до 30,5 %. Такое существенное повышение производительности венткамеры позволяет создать более устойчивые потоки свежего воздуха на встречу эвакуирующимся со станции пассажирам и обслуживающему персоналу и избежать задымления путей эвакуации.

После настройки, суммарная мощность работающих вентиляторов на указанных станциях Ленинской линии Новосибирского метро снизилась с 200 до 176,4 кВт. При этом средний эксплуатационный КПД вент-агрегатов повысился с 8,5 до 13 % при одиночной работе (или с 11,4 до 21,5 % при учете и одиночной и параллельной работы).

Выводы

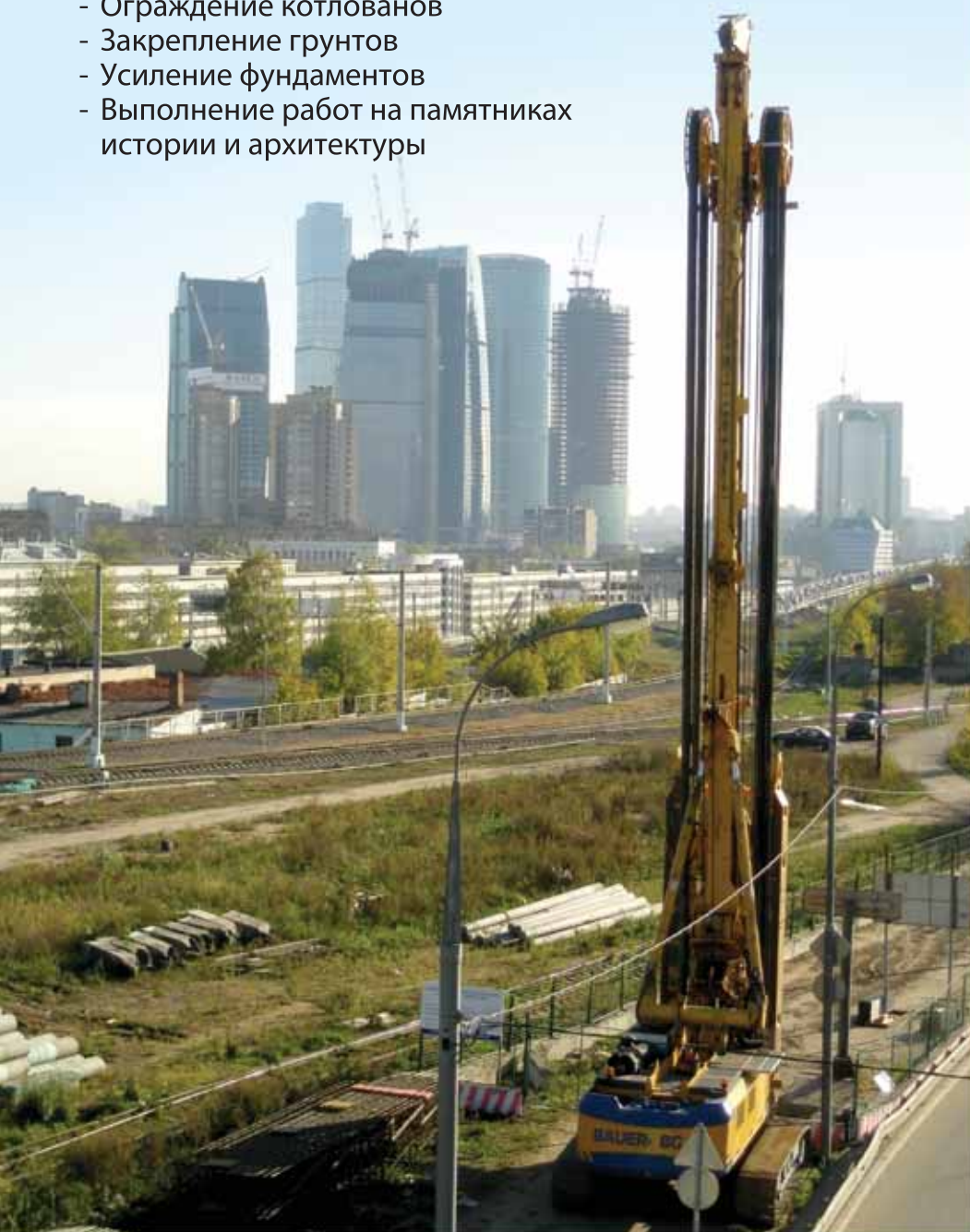
1. Выполненные работы по настройке лопаточных систем вентиляторов ВОМД-24 позволили снизить аэродинамические потери вентиляторов в вентиляционных камерах Новосибирского метрополитена, что дало увеличение КПД при одиночной работе вентиляторов в 1,2–5,5 раза и при совместной работе примерно в 2,6 раза. Столь значительное увеличение КПД привело к повышению производительности вентиляторов на 10–140 % при одновременном сокращении энергопотребления на 9–31 %.

2. Достигнуто значительное повышение производительности вентиляторов при параллельной работе, что позволило практически обеспечить нормативные скорости воздуха (1,7 м/с) на путях примыкания путей эвакуации к платформам при аварийном задымлении станций.



С нами строить легко!

- Полный цикл проектирования и строительства подземных сооружений (автостоянки, транспортные развязки, гидротехнические сооружения) и надземных сооружений (жилые, промышленные объекты)
- Ограждение котлованов
- Закрепление грунтов
- Усиление фундаментов
- Выполнение работ на памятниках истории и архитектуры



реклама



®

г. Пермь. ул. Кронштадтская, 35
тел./факс (3422) 244-72-22
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82
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, office@new-ground.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ

Г. И. Будницкий, С. В. Мазеин, Тоннельная ассоциация России

В бетонных конструкциях дорог, тоннелей и мостов необходимы повышенные показатели прочности на растяжение и изгиб, трещиностойкости, ударной вязкости, выносливости, морозостойкости, водонепроницаемости, износостойкости. Для улучшения перечисленных показателей применяется дисперсное армирование бетона волокнами (фиброй): стальными, стеклянными, базальтовыми, синтетическими и др. Появление фибры как самостоятельного технологического продукта для армирования стимулировало ее применение в дорожных одеждах и отделке тоннелей. Благодаря дисперсному армированию удается добиться снижения материалоемкости конструкций, стоимости и трудоемкости изготовления по сравнению с традиционными армирующими решениями. Такие показатели удается получить за счет частичного или полного отказа от необходимости применения в конструкциях традиционных арматурных сеток и каркасов, а также в результате перевода комплекса производства арматурных работ в процессе изготовления армированной бетонной смеси непосредственно в бетоносмесителе. Армирующие фибровые волокна можно добавлять как на заводе, так и непосредственно на строительной площадке.

По данным ГПИ «Союздорпроект», применение сталефибробетона взамен типовых железобетонных плит позволит увеличить их срок службы в 2 раза, сократить расход металла на 7 % и цемента на 7,5 %. Использование дисперсно-армированных бетонов различной плотности и прочности позволяет интенсифицировать процессы, повысить качество и ресурсопотребление. Фибробетон дает

так называемый отложенный экономический эффект за счет более высокой долговечности и износостойкости, эксплуатационной пригодности, увеличения межремонтного ресурса и повышения безопасности сооружений при сейсмических воздействиях и пожарах.

В тоннелестроении стальную фибру начали использовать для армирования набрызг-бетонных крепей и торкретирования в 70-х годах прошлого столетия. В 80-х годах область применения фибрового армирования расширилась до применения во вторичных монолитных обделках – «рубашках». В дальнейшем, с развитием технологической и методологической базы фибробетонных конструкций появилась возможность применения стальной фибры в качестве арматуры для монолитных и сборных несущих обделок (первичных) как самостоятельных без стержневого армирования, так и в комбинации со стержневой арматурой. На данный момент зарубежный опыт применения сталефибробетона для сборных тоннельных обделок составляет почти 20 лет. Первый тоннель с блоками, армированными стальной фиброй в комбинации со стержневой арматурой, был запроектирован и построен для линии метро Неаполя (Италия) в 1992 г. Для армирования блоков использовалась стальная проволоочная фибра Dramix C50/50 бельгийской фирмы Bekaert в количестве 40 кг/м³. Обделка с внутренним диаметром 5,8 м, толщиной 30 см, длина тоннеля 2640 м.

Впервые тоннельная обделка из блоков, армированных только стальной фиброй, была применена для багажно-транспортного тоннеля аэропорта Хитроу в Лондоне в 1995 г. Для армирования блоков использовалась стальная

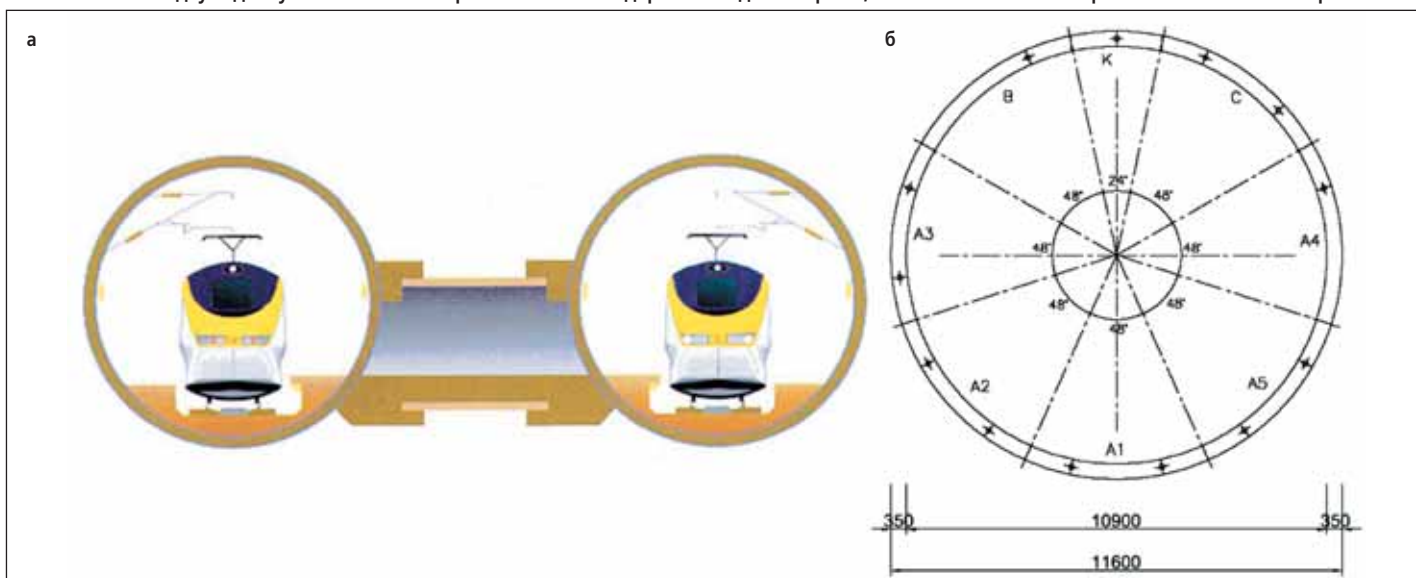
проволоочная фибра Dramix C60/80 в количестве 30 кг/м³. Обделка внутренним диаметром 4,5 м, толщиной 15 см, длина тоннеля 1500 м. В настоящее время за рубежом насчитывается более трех десятков эксплуатируемых тоннелей различного назначения диаметрами от 3,4 до 11,8 м с применением блоков только с фибровым и комбинированным армированием. Наибольший интерес для дальнейшего использования фибры представляют транспортные тоннели с внутренними диаметрами от 5,1 м и более – тоннели метрополитена, железнодорожные и автодорожные.

Для обустройства тоннелей и других подземных сооружений применяется монолитный сталефибробетон для временных крепей и сталефибрового торкретбетона. На перерогонном тоннеле линии Московского метро «Киевская» – «Парк Победы» опробована фибронабрызг-бетонная крепь, где экономический эффект достигается за счет отказа от металлических арок и арматурной сетки (до 150 кг на 1 м конструкции) и уменьшения «отскока» материала. Аналогичные результаты получены при возведении временной крепи станции «Бажова» Екатеринбургского метрополитена.

На Очаковском заводе Мосметростроя изготовлено более тысячи замковых блоков из сталефибробетона для сборной обделки, при этом трещиностойкость блоков повысилась в 1,5 раза.

По данным В. Е. Русанова приведена таблица о реализованных транспортных тоннелях с обделками из сталефибробетона и обделках с комбинированным армированием, с указанием их основных параметров, размеров и дозировки стальной фибры.

Рис. 1: а – сечение двух однопутных тоннелей скоростной железной дороги «Лондон – Париж»; б – сечение тоннеля метрополитена Линии 9 в Барселоне



Таблица

Объект	Обделка				Фибра	
	Тип армирования	Участок	Внешний диаметр, м	Высота, м	Длина, мм/диаметр, мм	Расход, кг/м ³
Metrosud, метро, Неаполь, Италия, 1992	фибра + стержни	2,64 км	6,4	0,3	50/0,5	40
U-Bahn Los 34, метро, Эссен, Германия, 1997	–	100 м	8,07	0,4	50/0,6	60
Jubilee, легкое метро, Лондон, Великобритания	–	2 км	5,05	0,3	60/0,8	30
High Speed 1 (CTRL2 C320), ж. д., Великобритания, 2007	фибра	2,5 км	2×7,85	0,35	47/0,8	35
High Speed 1 (CTRL2 C250), ж. д., Великобритания, 2007	фибра	5,3 км	2×7,85	0,35	–	–
High Speed 1 (CTRL2 C240), ж. д., Великобритания, 2007	фибра	4,7 км	2×7,85	0,35	60/0,75	–
High Speed 1 (CTRL2 C220), ж. д., Великобритания, 2007	фибра	7,5 км	2×7,85	0,35	60/0,75	–
Second Heinenoord Tunnel, а. д., Нидерланды, 1999	фибра	16 колец	2×8,3	0,35	60/0,71	60
Line 9, метро, Барселона, Испания, 2003	фибра + стержни	≈40 км	11,6	0,35	50/1,0; 50/0,75	25, 35
Line 9, метро, Барселона, Испания, 2005–2006	фибра	16 колец (по 1,8 м)	11,6	0,35	50/0,75	60
Line 1, метро, Валенсия, Венесуэла	фибра + стержни	≈4 км	9,242	0,4	50/0,75	40
Expressway Central Circular Shinjuku Route, метро, Япония	фибра + стержни	60 колец (по 1,5 м)	11,8	0,45	30/0,6	63
Перегонные тоннели, метро, Москва, Россия	фибра	замковые блоки	5,5	0,2	32/1,0	–
Перегонные тоннели метро, Санкт-Петербург, Россия, 1997	фибра	3 кольца	5,63	0,15	35/0,6	80, 120

В зарубежной практике строительства тоннелей, как наиболее показательные, можно выделить реализованные проекты строительства железнодорожных тоннелей Великобритании – Франции (High Speed 1) и Линии 9 метрополитена в Барселоне (рис. 1).

В первом случае армирование обделки внешним диаметром 7,85 м выполнено стальной фиброй без стержневой арматуры.

Альтернативой металлическому армированию бетона сеткой и фиброй может являться макросинтетическое фиброармирование. Последние научные исследования доказывают превосходство синтетического фиброармирования над металлическим по некоторым техническим показателям и по экономической эффективности. Преимущества бетона с синтетическим фиброармированием:

- меньшая стоимость при эквивалентной прочности;
- податливость при работе с трещинами;
- устойчивость к коррозии;
- увеличение огнестойкости.

Зарубежные исследования показали, что путем добавления синтетических волокон можно несколько снизить склонность бетона к растрескиванию (по требованиям норматива ZTV-ING). Но негативная реакция бетона на высокие температуры, выражающаяся в дегидратации при температуре выше 400 °С, приводит к снижению прочности бетона до 50 %. Необходимы дополнительные исследования по повышению огнестойкости бетона с синтетическими макро- и микрофибрами.

По данным фирмы Elasto Plastic Concrete (Europe) 70 % тоннелей в Норвегии строятся с применением синтетической фибры BarChip, включая монолитную обделку автодорожного тоннеля Jondal протяженностью 8,3 км. В автодорожном тоннеле Malaga (Испания) выполнена блочная комбинированная обделка с использованием синтетической фибры. В мае 2011 г. изготовлены первые в России блоки обделки, армированные

синтетической фиброй BarChip54. Это были сегментные блоки обделки вертикального ствола, предназначенные для облегчения входа щита в шахтный ствол через обделку без металлической арматуры (рис. 2).

Армирование бетона как металлической, так и синтетической фиброй может найти более широкое применение при производстве сборных и монолитных конструкций тоннелей в России, но в настоящее время сдерживается отсутствием соответствующей нормативно-технической документации.

Тоннельная ассоциация России выступила инициатором создания стандарта СТО НОСТРОЙ «Тоннельные конструкции (ТК) из фибробетона», предназначенного для широкого внедрения фибробетона в тоннельное строительство. В соответствии с программой работ над стандартом, на первом этапе фибробетон вносится в список разрешенных материалов для применения в тоннелестроении, для чего формируется полный перечень отечественных и зарубежных нормативов, обосновывающий применение фибробетона в тоннелестроении. На втором этапе разработки стандарта проводятся опытно-экспериментальные исследования фибробетона с определением влияния состава бетона, вида и количества фибры на свойства фибробетона, а также опытно-экспериментальные работы по созданию обделок из фибробетона с проведением испытаний. В содержание стандарта, помимо общих разделов, должны войти следующие главы:

- строительные материалы (сырьевые материалы, типы и характеристики конструкционной фибры);



Рис. 2. Блок, на 100 % армированный синтетической фиброй, для обделки вертикального шахтного ствола (Санкт-Петербург)

- подбор состава, приготовление и свойства фибробетона для сборных, монолитных и набрызг-бетонных конструкций (расчет состава бетонной смеси; свойства фибробетона; проектные значения характеристик фибробетона);

- нормативные требования к материалу и конструкциям из фибробетона;
- определение внутренних усилий и расчет конструкций (основные методические положения);

- общие правила проектирования;
- правила применения в строительстве;
- контроль качества.

Активными участниками разработки стандарта, первыми выразившие свое согласие к сотрудничеству, являются: ОАО «Трансинжстрой», ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», ОАО «Метрострой» С-Пб, ООО «Завод специальных железобетонных труб», НПО «Космос», «Elasto Plastic Concrete (Europe)» и ОАО «Бамтоннельстрой».

Тоннельная ассоциация России приглашает к сотрудничеству все заинтересованные организации, занимающиеся подземным строительством, и предлагает включиться в софинансирование разработки стандарта.

МЕТРОПОЛИТЕНЫ ИСПАНИИ: ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА

Г. В. Линкишкин, зам. генерального директора ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

М. Ю. Губин, главный инженер проектов

Д. А. Бойцов, начальник архитектурно-строительного отдела



Строительство двухпутного тоннеля

Метрополитен Мадрида

Планировочные особенности линий

Система подземной транспортной сети представляет собой развитую структуру, состоящую из одной кольцевой и десяти радиальных веток. Все радиальные ветки проходят через исторический центр города, формируя развитую группу пересадочных узлов. Насыщенность города станционными узлами и пешеходная доступность до каждой станции при расстоянии между ними не более 800 м обуславливают компактность вестибюльных сооружений (входных зон) с учетом перераспределения пассажиропотоков за счет соседних станций. Трассировка первых линий метро, проходящих через исторический центр, выполнялась на глубине мелкого заложения, что повлияло на их траекторию, взаимоувязанную с главными широкими улицами города. Структура метрополитена повторяет градостроительные планировочные особенности города, связанные с преобладанием радиальных и кольцевых направлений дорожной сети и расположением кварталов.

Особенности архитектурного и объемно-пространственного решения

За основу конструктивных схем первых станций были взяты парижские прототипы,

существовавшие на момент начала строительства испанского метро. Таким образом, станции изначально создавались односводчатыми с боковыми платформами.

Особенностью большинства станций, созданных в течение XX в., являются компактность пассажирских пространств, функциональные и индустриальные архитектурные решения. Современные станции, решенные в едином подземном объеме с вестибюлями, выполнены колонными с боковыми платформами. Их пассажирские пространства значительно просторнее, чем в предшествующих станциях.

В соответствии с конструктивной схемой станций мелкого заложения, транспортные узлы представляют собой развитую систему подземных переходов, примыкающих к станции. Благодаря наличию подземных переходов, ведущих со станции на разные стороны улиц, входные лестничные и эскалаторные спуски устраиваются предельно компактными. Исторические лестничные спуски имеют ширину от 2,5 м, а в современных и реконструированных входных сооружениях к аналогичной по ширине лестнице добавлены пары узкобалюстрадных эскалаторов.

Существуют примеры лестнично-эскалаторных спусков с открытием в виде остеклен-

ных павильонов. Наиболее интересным примером является остекленный павильон на площади Сол, расположенный над лестнично-эскалаторными спусками, с выходами на две стороны. Очертания сооружения повторяют контуры спусков, что ассоциативно сопоставляется именно с входом в подземное пространство.

В интерьерах отделочные материалы утилитарные, сугубо функциональные. Облицовка интерьеров выполняется четко по контуру несущих конструкций. Таким образом, интерьеры по композиционному и объемно-пространственному решению воспринимаются однотипными, однако при этом высвобождается максимум внутреннего пространства подземных сооружений при меньших капиталовложениях.

Метрополитен Барселоны

Планировочные особенности линий

Аналогичны Мадридскому метрополитену. Принципиальным отличием является их композиционное построение и взаиморасположение, обусловленное иной градостроительной структурой. Поскольку структура города, расположенного на склоне возле средиземноморского побережья, представляет собой центральное ядро, окруженное



Фрагмент интерьера вестибюля станции «Сингуэрлин» 9-й ветки Барселонского метрополитена



Интерьер станции «Сингуэрлин» 9-й ветки Барселонского метрополитена

ортогональной системой кварталов, главными городскими направлениями являются группы параллельных лучей вдоль побережья и в перпендикулярном направлении.

В соответствии с этой структурой основными направлениями веток метрополитена являются линии, дублирующие важные городские магистрали, а также диагональные направления, дополняющие дорожную сеть недостающими связями. Таким образом, сеть метрополитена в Барселоне представляет преимущественно группу веток, идущих по рельефу (дуговые ветки метрополитена), и группу централизованных радиальных направлений.

Особенности объемно-пространственного решения

Помимо аналогий с Мадридским метрополитеном характерной особенностью современного метро в Барселоне является применение двухпутных тоннелей диаметром 11,6 м с устройством станций в два уровня и перегонами в один уровень с двумя путями. Транспортные развязки и тупики устраиваются в объеме тоннеля за счет устройства рамп.

В комплексе с конструкцией двухэтажных станций в составе единого тоннеля решены входные пассажирские коммуникации посредством устройства вертикальных лифтовых и эскалаторных шахт, обеспечивающих непосредственный доступ с поверхности земли на каждый из уровней подземной станции. Шахты выполняются диаметром до 30 м и позволяют обеспечить доступ к станции глубокого заложения в условиях затесненной исторической застройки с наименьшей степенью влияния на здания в отличие от наклонных эскалаторных ходов, применяемых в отечественном метрополитене.

Входные сооружения в большинстве примеров выполнены аналогично мадридским и представляют собой преимущественно компактные открытые лестничные и эскалатор-



Пример устройства лифтового вестибюля в едином стволе. Архитектурный образ – «ярусы театра»



Пример устройства лифтового вестибюля в едином стволе. Оформление символизирует чередование тектонических слоев земли

ные спуски. Отличительной особенностью является наличие лифтовых павильонов в исторической застройке.

Особенности архитектурного решения

В интерьерах станций использованы новые современные облицовочные материалы:

- архитектурный бетон (формованные элементы из композитного материала, состоящего из различных пород мрамора) для облицовки стен и создания малых форм;
- нержавеющая сталь (листовая, профилированная) для стен и сводов;
- керамогранит (квадратные и прямоугольные плиты) для вертикальных участков стен и пола;
- окрашенный металл (листы, профили) для криволинейных поверхностей, карнизов и сводов;
- керамическая глазурованная плитка для стен;
- стекло, применяемое в качестве светопрозрачных перегородок.

Современные системы вестибюлей метро, конструктивно решенных как ствол с единым сечением от поверхности до станции, позволяют создавать во внутреннем объеме разнообразные многоуровневые пространственные композиции с включением каскадов малых эскалаторов и групп вестибюлей.

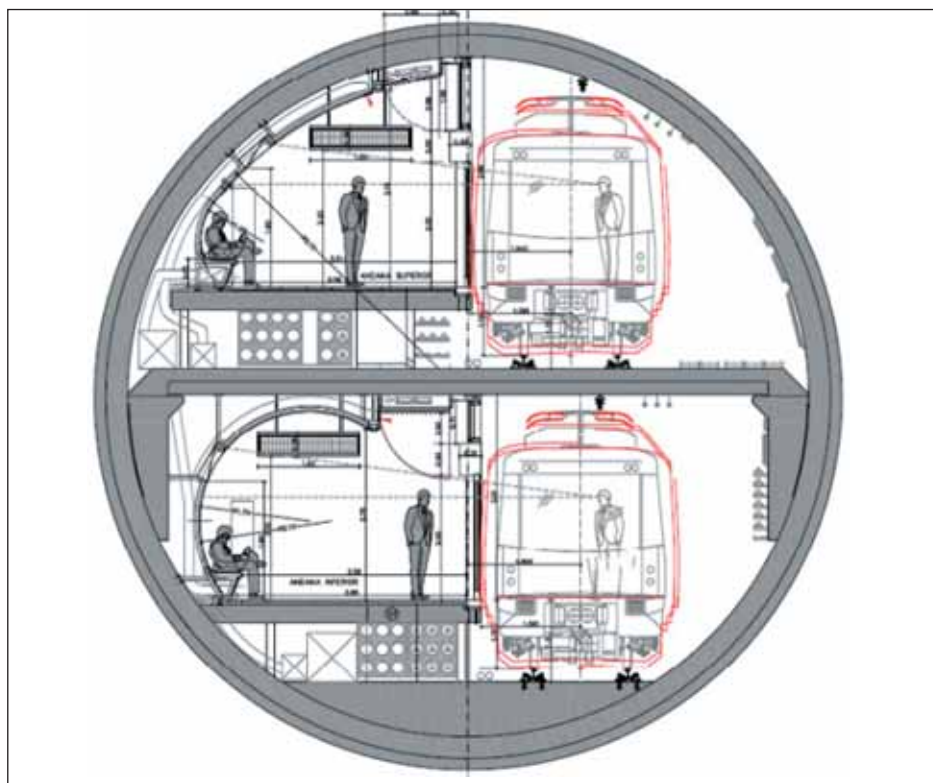
Результатом применения функциональных промышленных материалов и новых современных форм в архитектуре является формирование образа высокотехнологичных объектов, что особенно точно раскрывает концепцию новаторства Барселонского метрополитена, включающего множество средств автоматизации и управления подвижным составом (на новых линиях метро движение полностью автоматизировано и поезда управляются без машинистов).

Особенности строительства линии 9 Барселонского метрополитена

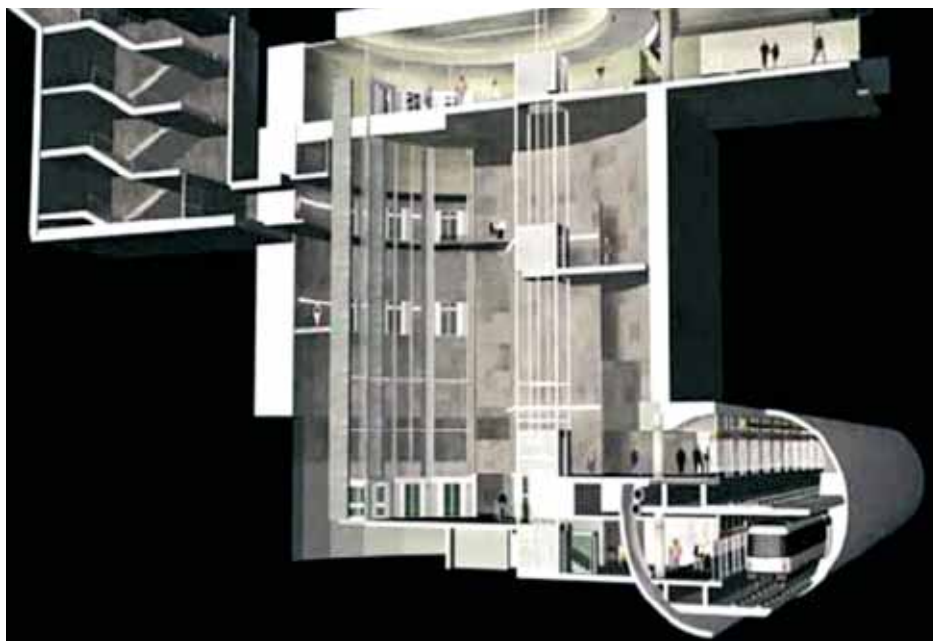
Протяженность линии 9 планируется 47,8 км с сооружением на ней 52 станций. При этом на обоих концах линии будет организовано вишечное движение. То обстоятельство, что линия 9 по сути связывает северо-восточную и юго-западную части города, проходя под историческим центром, в районах плотной городской застройки, обуславливает ее объемно-пространственные и конструктивные особенности.

Инженерно-геологические условия прокладки линии крайне разнообразны, меняясь по трассе от неустойчивых водонасыщенных супесей до скальных пород с наличием многочисленных геологических аномалий.

При выборе способа строительства во главу угла ставится достижение максимальной степени механизации горнопроходческих работ. Для сооружения тоннелей при строительстве линии 9 применяются горнопроходческие комплексы с активным грунтопригрузом (EPB – Earth Pressure Balance). Тоннели на данном участке приняты в двухпутном исполнении диаметром вчере 11,6 м,



Сечение типовой двухуровневой станции



Станционный узел, состоящий из лифтового вестибюля и двухуровневой станции

притом в этом же сечении устраиваются боковые посадочные платформы. На перегонах поезда движутся в одном уровне, переходя в разные уровни в зонах станций.

При сооружении тоннелей используется высокоточная обделка. Кольцо обделки состоит из восьми блоков, продольные связи между которыми обеспечиваются посредством шпилек. Жесткое основание пути выполняется как из блоков заводского исполнения, так и заливкой непосредственно в тоннеле. Ввиду большой производительности комплекса, транспортировка породы осуществляется ленточными конвейерами.

В районах изменения инженерно-геологических условий производится смена рабочего органа проходческого комплекса. Поскольку для смены планшайбы диаметром 11,6 м требуется сооружение ствола большого диаметра, в данных районах целесообразно устройство станции с размещением вестибюля в стволе диаметром 26 м. Таким образом, при проектировании линии 9 в части размещения станций учитываются как градостроительные, так и инженерно-геологические и технологические условия.

Глубина станций, сооружаемых в стволе, составляет 45–70 м, наибольшая глубина перегонного тоннеля – 80 м.



Памяти Александра Отариевича ГЕПЕРИДЗЕ



20 июня 2012 г. на 52-м году жизни скончался Геперидзе Александр Отариевич, вице-президент ЗАО «Объединение «ИНГЕОКОМ», создавший и долгие годы возглавлявший ООО «СМУ ИНГЕОКОМ».

А. О. Геперидзе родился 26 июля 1960 г. в Грузии. После окончания в 1983 г. Грузинского политехнического института по специальности «Строительство гидротехнических сооружений», был направлен в числе молодых специалистов на строительство Жинвали ГЭС в Грузии.

В 1986 г. началась прокладка железнодорожного тоннеля под главным Кавказским хребтом, где А. О. Геперидзе принимал участие. Распад СССР приостановил строительство этого масштабного и уникального проекта. Однако приобретенный опыт и неукротимая энергия навсегда связали судьбу Александра Отариевича с возведением подземных тоннелей и сооружений.

С 1991 г. А. О. Геперидзе становится начальником московского Филиала ТО-44, а с 1996 г. – генеральным директором ООО «СМУ ИНГЕОКОМ». За эти годы под его руководством отстроены станции Московского метро: «Кожуховская», «Алтуфьево», «Братиславская»,

«Международная», «Деловой Центр» («Выставочная»), «Строгино», «Борисово», «Славянский бульвар»; первая линия метрополитена в г. Казани и первый пусковой участок в г. Челябинске, а также сооружен гидротехнический тоннель под проливом Босфор в г. Стамбуле (Турция).

За достигнутые успехи А. О. Геперидзе был награжден дипломом мэра г. Москвы, почетной грамотой мэра г. Казани и медалью «В память 1000-летия Казани», удостоен звания «Почетный строитель России».

Человек огромной и щедрой души, любящий жизнь и людей, в наше сложное время глубоко верил и был убежден в том, что только творя добро, можно достичь успеха и победить зло.

Память об Александре Отариевиче Геперидзе – человеке доброго сердца, высококлассном организаторе и руководителе, останется в сердцах его коллег, друзей, и сохранится в построенных под его руководством многочисленных сооружениях.

Памяти Галины Михайловны САНДУЛ



21 сентября 2012 г. после тяжелой продолжительной болезни ушла из жизни редактор нашего журнала Галина Михайловна Сандул.

Галина Михайловна родилась 6 сентября 1940 г. в Москве в семье военнослужащего. По окончании в 1960 г. Московского редакционно-издательского техникума работала старшим редактором отдела переводов и научно-технической информации во Всесоюзном НИИ мясной промышленности.

В 1961 г. Галина Михайловна вышла замуж за военнослужащего и поехала к месту службы мужа на Дальний Восток. Там она работала зав. библиотекой, преподавала русский язык и литературу в школе, была зам. ответственного секретаря газеты «Ленинское знамя» г. Термез Сурхан-Дарьинской области.

В 1972 г. Галина Михайловна окончила филологический факультет Туркменского государственного университета в г. Ашхабаде, после чего вернулась с семьей в Москву. С этого времени в течение 40 лет она являлась бес-

сменным редактором нашего журнала, который вначале назывался «Метрострой», затем «Метро» и сейчас – «Метро и тоннели».

Галина Михайловна очень любила свою работу, отдавалась ей целиком. Она живо интересовалась всем новым в области метро- и тоннелестроения, принимала активное участие в проводимых строительных выставках и конференциях. Профессионализм, жажда деятельности, равнодушие к своему делу, активная жизненная позиция – все это было присуще Галине Михайловне в полной мере.

В нашей памяти Галина Михайловна останется человеком редкого оптимизма и доброты.

Тоннельная ассоциация России и редакция журнала «Метро и тоннели» приносят искренние соболезнования родным и близким Галины Михайловны Сандул.



ВИНТОВЫЕ АНКЕРЫ АТЛАНТ



Применение:

- крепление ограждений котлованов;
- крепление подпорных стен, оползневых склонов;
- устройство и усиление фундаментов анкерными сваями.