

Журнал
Тоннельной ассоциации России

Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

Зам. председателя редакционной коллегии

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

Ответственный секретарь

Г. И. Будницкий

Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук
В. В. Адушкин, академик РАН
В. Н. Александров
М. Ю. Беленький
А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук
Н. Н. Бычков, доктор техн. наук
С. А. Жуков
А. М. Земельман
Б. А. Картозия, доктор техн. наук
Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук
С. В. Мазеин, доктор техн. наук
И. В. Маковский, канд. техн. наук
Ю. Н. Малышев, академик РАН
Н. Н. Мельников, академик РАН
В. Е. Меркин, доктор техн. наук
М. А. Мутушев, доктор техн. наук
А. А. Пискунов, доктор техн. наук
М. М. Рахимов, канд. техн. наук
М. Т. Укшебаев, доктор техн. наук
Б. И. Федунец, доктор техн. наук
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук
Е. В. Щекудов, канд. техн. наук
Ш. К. Эфендиев, председатель
ТА Азербайджана

Тоннельная ассоциация России

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

Издатель

ООО «Метро и тоннели»

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

Генеральный директор

О. С. Власов
Журнал зарегистрирован
Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2016

№ 1 2016

Панорама 2

Юбиляры отрасли

Влюбленный в метро 4

Щитовая проходка

Научно-техническое обоснование выбора типа пригруза
щитовой проходки в сложных геологических условиях
строительства тоннелей метро 10
С. Г. Елгаев, С. В. Мазеин, Б. И. Федунец

Инновации

Стройплощадки на перегонах:
неизбежность или анахронизм? 16
С. Г. Елгаев, С. В. Мазеин, М. А. Мутушев

Гидроизоляция

Гидроизоляционные системы для подземных
сооружений транспортного назначения, возводимых
по технологии «стена в грунте» 19
Т. Е. Кобидзе, Д. А. Колобаев, Г. В. Потапов

Набрызг-бетон

Об эффективности применения набрызг-бетона
в метростроении 22
М. С. Панкратов, А. А. Алексанян

Новые материалы

Использование анкерной стальной фибры
при строительстве транспортных тоннелей 26
М. Е. Володин

Из истории метростроения

Станция метро «Маяковская» в моей жизни 31
Е. М. Пашкин

Испытания грунтов

Расчетные характеристики засоленных грунтов,
используемых в транспорте строительстве 32
А. Д. Каюмов, Р. М. Худайкулов

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Применение
фибронабрызг-бетона
на строительстве
Рокского тоннеля
(с. 26)

М. Ю. Беленький, заместитель генерального директора ОАО «Мосметрострой»

19 ноября 2015 г. в подземной галерее Хагербах (Швейцария) подведены итоги конкурса ITA Tunneling Awards 2015, который впервые организовала Мировая тоннельная ассоциация. Конкурс проводился по 11 номинациям:

- крупнейший проект года стоимостью более 500 млн евро;
- тоннельный проект года стоимостью от 50 до 500 млн евро;
- выдающийся проект года до 50 млн евро;
- технические инновации года;
- экологический проект года;
- проект года в области безопасности;
- инновационное использование подземного пространства;
- молодой тоннельщик года;
- инженер года;
- подрядчик года;
- пожизненный успех.

На конкурс было подано более 100 заявок, из которых специально созданное жюри сформировало короткий список из трех претендентов по каждой номинации. На специально организованной конференции в галерее Хагербах были заслушаны презентации всех отобранных претендентов и определены победители. Вручение наград состоялось в торжественной обстановке сразу после конференции.

Проведение данного конкурса дало отличную возможность познакомиться с последними разработками и достижениями в различных сферах деятельности по освоению подземного пространства. Результаты конкурса опубликованы на сайте Мировой тоннельной ассоциации <http://www.ita-aites.org>.

Главная номинация конкурса – «Крупнейший проект года стоимостью более 500 млн евро».

Победа в этой номинации присуждена совместно (Турция и Южная Корея) предприятию Yapi Merkezi and SK E&C Joint Venture (YMSKJV) за реализацию проекта «Тоннельный проект Евразия (The Eurasia Tunnel Project)», завершеному в Турции. Данный проект является частью строительства новой автомобильной дороги длиной 14,6 км между европейской и азиатской частями г. Стамбул, разделенными проливом Босфор. Участок дороги со стороны европейской части име-

ет длину 5,4 км, со стороны азиатской – 3,8 км и непосредственно тоннельный участок длиной 5,4 км. Реализация данного проекта помогает решить проблему загруженности автомобильных дорог в Стамбуле и сократить время в пути через пролив Босфор со 110 до 15 мин.

Проект концессионный. Генеральным подрядчиком по его строительству выступило совместное предприятие Yapi Merkezi and SK E&C Joint Venture (YMSKJV).

Общий срок выполнения работ по всему контракту составил 55 месяцев.

Общая стоимость проекта с учетом эксплуатационных затрат на период концессии (29 лет) составляет 1,245 млрд \$ США, в том числе непосредственно стоимость строительства объекта – 814 млн \$ США.

Тоннельная составляющая данного проекта сооружалась с использованием трех основных технологий. Новоавстрийским методом (NATM) сооружен участок длиной 980 м, открытым способом – участок длиной 760 м и с использованием тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) сооружен участок непосредственно под проливом Босфор длиной 3340 м.

Тоннели открытого способа работ располагаются на припортовых участках, котлованы которых использовались в качестве монтажной и демонтажной камер для ТПМК.

Участок тоннелей, сооруженных по технологии NATM, представляет собой два отдельных параллельных тоннеля, пройденных со стороны азиатской части. Каждый тоннель, сооруженный Новоавстрийским методом, имеет ширину 10,6 м и высоту 8,3 м по внешним габаритам и рассчитан под две полосы движения. По одному тоннелю транспортный поток движется с запада на восток, по другому – в обратном направлении. Толщина конструкции железобетонной обделки – 400 мм.

Участок тоннеля под проливом Босфор протяженностью 3340 м сооружен с использованием тоннелепроходческого механизированного комплекса



Готовая часть тоннеля «Евразия», пройденного с помощью ТПМК

фирмы HERRENKNECHT смешанного типа (mixshield) диаметром резания 13,7 м, специально спроектированного для данного объекта и способного работать в разных режимах: с гидропригрузом и без использования пригруза. Для режущего органа была специально разработана 19-дюймовая шарошка с компенсационным устройством внутреннего давления. Общая длина комплекса – 120 п. м. Комплекс запроектирован и изготовлен под гидростатическое давление до 12 бар. Максимальная глубина заложения тоннеля от уровня моря составила 106,4 м.

Конструкция обделки тоннеля принята из сборных железобетонных блоков внутренним диаметром 12 м, шириной 2 м, кольцо состоит из девяти сегментов.

Проходка тоннеля была осуществлена за 490 дней. Щит начал проходку 14 апреля 2014 г. и завершил 22 августа 2015 г.

За время проходки комплекс преодолел по трассе около 70 % крепких коренных пород (аргиллит, песчаник, магматические горные породы) и около 20 % слабых неустойчивых грунтов (морские отложения, водонасыщенные супеси, суглинки, глины).

Движение по тоннелю двухуровневое, по две полосы движения на каждом уровне. По верхнему ярусу движение организовано в азиатскую часть Стамбула, а по нижнему – в европейскую. Тоннель рассчитан на проезд легкового и грузового транспорта с ограничением по высоте до 3 м.

Монтажная камера с азиатской стороны длиной 173 м выполне-

на из буронабивных свай с анкерным креплением котлована.

Камера сооружена из свай диаметром 800 мм глубиной до 37 м, ширина котлована от 25 до 36 м.

Демонтажная камера с европейской стороны длиной 290 м выполнена по технологии «стена в грунте» с традиционным креплением котлована поясами и расстрелами. Глубина «стены в грунте» достигает 31 м, толщина от 1,0 до 1,5 м.

Отличительной особенностью конструкции тоннеля является наличие по трассе двух сейсмических стыковочных колец, расположенных на расстоянии 524 м друг от друга. Это обусловлено тем, что тоннель располагается в районе с повышенной сейсмической активностью (магнитудой до 7,25 и расстоянием от источника землетрясения 17 км).

Сейсмическое стыковочное кольцо и специальные переходные кольца для соединения сейсмического кольца со стандартным бетонным кольцом были запроектированы японской компанией «SEIBU Polymer Corporation».

Функциональное назначение сейсмического стыковочного кольца – позволить смежным участкам тоннеля в случае сейсмической активности свободно перемещаться относительно друг друга в продольном и поперечном направлениях: до 75 мм в случае продольных деформаций, как на сжатие, так и на растяжение, и до 50 мм при поперечных деформациях.

Срок службы тоннеля согласно проекту составляет 100 лет.



ЗАПУСК ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

3 декабря 2015 г. состоялся тестовый запуск тоннелепроходческого комплекса «Надежда», который должен соорудить тоннель на участке Невско-Василеостровской линии от станции «Приморская» до станции «Беговая» (проектное название «Улица Савушкина») с промежуточной станцией «Новокрестовская».

Мероприятие прошло сразу в двух городах: Санкт-Петербурге и Москве. Команду для запуска щита дал министр транспорта РФ Максим Соколов в режиме телемоста, который состоялся в рамках работы пленарной сессии Транспортной недели – 2015 «Логистика Чемпионата мира по футболу 2018 года».

Проходка тоннеля началась со стартового котлована на Туристской улице и закончится в демонтажной камере в районе станции «Приморская». На данном участке строящего метрополитена проектом предусмотрен двухпутный тоннель, аналогичный тоннелю на Фрунзенском радиусе. Проходка будет осуществляться с применением того же щита, который проходил тоннель на Ф-2.

Участок двухпутного тоннеля от «Приморской» до «Беговой» имеет протяженность 5,2 км (общая длина участка, включая участок однопутных тоннелей в районе сопряжения со станцией «Приморская» – 5,71 км). Дойдя до намывных территорий, где расположится станция «Новокрестовская», трасса тоннеля заглубится и пройдет под дном Финского залива. Этот участок будет экспериментальным, так как тоннели метрополитена под акваторией Фин-

ского залива до этого не сооружались. В момент движения щита по этому участку технологические остановки для замены режущего инструмента или иных технологических операций будут максимально минимизированы.

Строительство участка Невско-Василеостровской линии должно завершиться в начале 2018 г. Станция «Новокрестовская» входит в список транс-

портных объектов, обслуживающих Чемпионат мира по футболу 2018 г. Контракт на строительство двухпутного тоннеля и станций «Беговая» и «Новокрестовская» заключен между Комитетом по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга и ОАО «Метрострой» 23 сентября 2015 г. Таким образом, строительно-монтажные работы по сооружению перегонных

тоннелей и станций «Беговая» и «Новокрестовская» займут менее 2,5 лет. Оптимальный срок строительства аналогичных объектов составляет 4 года. Для оптимизации сроков строительства Метростроем был разработан ряд технологических решений, которые позволят запараллелить некоторые виды работ и обеспечить ввод данного участка в плановый срок.



Монтаж ТПМК «Надежда»



ВЛЮБЛЕННЫЙ В МЕТРО



Сооружение жесткого основания тоннеля

Первые месяцы года стали для петербургского «Метростроя» насыщенными на юбилейные даты. В конце января «Метрострой» отметил 75-летие с момента своего основания, а через месяц – юбилей своего руководителя, Вадима Александрова. По удивительному стечению обстоятельств ему тоже – 75. И вот уже 25 лет он возглавляет одно из ведущих предприятий в российском метростроении.

– Вадим Николаевич, с каким настроением встретили юбилей?

– С хорошим настроением, с рабочим. В 2015 году в Петербурге было разыграно большое количество тендеров на строительство метро, и мы готовили себя к тому, что в текущем году придется много и интересно работать. Мы уже 75 лет работаем в Петербурге, и знаем особенности местного метростроения практически все. Но не это главное. Главное, что у «Метростроя» есть соответствующая база оборудования, техники, квалифицированный персонал, благодаря чему компания в состоянии решить поставленные задачи в сроки и за средства, выделяемые городом. Ведь неспроста никто не взялся построить за 2,5 года почти шесть километров тоннеля Невско-Василеостровской линии в очень сложных грунтах, и две станции, «Беговую» и «Новокрестовскую». Эксперты говорят, что это нереально. Но мы взялись за это дело. Потому что это нужно городу, и потому что сделать это можем только мы. Хотя я бы лучше решал реальные задачи.

– Как развивалась компания? С какими трудностями приходится сталкиваться сегодня и как «Метрострой» их преодолевает?

– Трудности сопровождали нашу деятельность на каждом шагу на протяжении всех

75 лет. И основная задача, которая ставилась всегда и стоит по сей день – облегчение труда проходчиков. Для этого планомерно, из года в год развивалась механизация процессов, совершенствовались конструкции станций, перегонов, огромное внимание уделялось техническому прогрессу. Многие, что делалось здесь, в Ленинграде, затем применялось метростроительными организациями в других городах. Мы первыми, к примеру, чтобы уменьшить осадки дневной поверхности, создали и применили обделку, обжатую на породе. Единственными рискнули и построили двухуровневую станцию односводчатого типа – «Спортивную». Недавно первыми в России прошли двупутный тоннель с применением щита, в то время как в других российских городах эта технология только планируется к внедрению. И многое-многое другое.

Сегодня трудности носят, в основном, организационно-технический характер. Это связано со сменой заказчика, которая произошла относительно недавно, два года назад. Многие годы нашим заказчиком выступал городской метрополитен, чьи специалисты досконально знали потребности, особенности строительства и эксплуатации метро. Сейчас нашим заказчиком является Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга. И нам обоюдно приходится на-

ходить точки соприкосновения и взаимопонимания. Тем не менее, новый заказчик понимает, что «Метрострой» – честная открытая организация, которая работает на благо города, и это вселяет в нас оптимизм.

Главная мысль, которая как и прежде объединяет «Метрострой» и заказчика, это то, что без метро развитие города невозможно. Существует мнение, что строить метрополитен очень дорого. Да, соглашусь, те же скоростные магистрали, легкорельсовый транспорт – каждый из этих проектов при строительстве дешевле. Но с появлением метро появляется возможность развития вокруг, а вокруг трамвая?.. Мы строим транспортную инфраструктуру под землей, не занимая участки земли на поверхности. А если произвести расчеты с учетом стоимости земли, то подземное строительство выйдет значительно дешевле.

– Вы пришли в Ленметрострой в 1963 году. Что Вас, молодого специалиста, привлекло в метростроении?

– Будучи молодым человеком, сначала студентом, а потом выпускником ЛИИЖТа, я восхищался тем, как строится метро. Это были романтические времена, когда люди работали за совесть, а не за деньги, когда слово «проходчик» произносилось с придыханием, люди гордились своей работой. Когда увидел,

как под землей работают, как проходчики отдаются, как они стремятся достичь результата – я влюбился в метростроение. И стал горняком на всю жизнь. Я дал себе слово сделать все возможное, чтобы облегчить этот тяжелый и опасный труд. Теперь романтики, к сожалению, пожалуй, не осталось. Мотивация у нового поколения рабочих другая. Но плохому человеку, по-прежнему, в метростроении не уживаться, не примет коллектив. В бригаде проходчиков должно быть взаимопонимание, в забое в любой момент может случиться обвал, нарушится крепление, и в этот момент спасти может только взаимовыручка.

– Что можно использовать из советского опыта при развитии российского метростроения?

– Очень хотелось бы вернуть плановую систему ведения хозяйства. Развитие метро, строительство новых километров и новых станций просчитывалось вперед на несколько лет. Сегодня же с момента принятия городской отраслевой Схемы развития и до начала реализации может произойти все, что угодно. И даже на этапе строительства проект может несколько раз корректироваться. Вот эта неопределенность внушает опасение. Ведь чтобы начать строить новую линию метро, нужно долго готовиться, оценить все за и против и только тогда маховик работ закрутится полным ходом.

Еще один важный фактор, который существовал в советские годы, а сейчас, к сожалению, отсутствует – централизованное управление метростроением. Ведь по сути метростроение – это целая отрасль, которая требует координации усилий огромного количества специалистов, организаций, региональных, а порой и федеральных ведомств.

– Вадим Николаевич, Вы возглавили организацию в тяжелые 1990-е. Как удалось сохранить коллектив и не растерять потенциал в то время, когда почти ничего не строилось?

– В постперестроечные времена, действительно, было сложно. Менялась привычная нам с советских времен система, появлялись новые рыночные правила. Но в тот момент всех нас объединяло одно – желание строить метро. Яркое, ничем не убиваемое желание строить тоннели и станции. Благодаря этому и выстояли. И не просто выстояли, а реализовали такие уникальные объекты, как станция «Спортивная» и тоннели-дублеры на участке размыва. Мы работали, хотя месяцами не получали зарплат, и нам удалось сохранить наш уникальный коллектив, благодаря которому мы постепенно восстанавливали объемы работ, разрабатывали новые проекты, обновляли оборудование.

– Какие объекты, помимо метро, Вы считаете наиболее знаковыми для вашей организации?

– В жизни ничего не проходит просто так, и опыт, приобретенный «Метростроем» за годы существования, очень пригодился нам на других стройках. В частности, когда мы стро-



Комплекс защитных сооружений от наводнений

или судопропускное сооружение и автодорожный тоннель длиной почти 2 км на Комплексе защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений. Это была большая, серьезная работа, мы гордимся своим вкладом в реализацию этого грандиозного проекта.

Очень интересным и сложным было строительство Мариинского театра. Сначала нас попросили спасти положение, когда при разработке котлована начались подвижки фундаментов соседних домов. И, несмотря на то, что мы появились на объекте не с самого начала, мы нашли выход из положения и обустроили котлован, как надо. После этого взялись за строительство здания, а затем и за отделку театра, практически всю эту работу выполнили своими силами.

На ЛАЭС-2 работа тоже не менее сложная и интересная: сложные бетоны, сложность конструкций, сам масштаб стройки... Там мы

выполняем весь объем работы по строительству здания реактора с нулевого цикла, возводим градирни. Но нас туда допустили не сразу, все-таки атомная энергетика. А теперь

Вадим Александров:

«Метростроение должно быть хотя бы частично государственным, потому что оно решает государственную задачу»

говорят: «Хорошо, что здесь у нас работает именно Метрострой. Вряд ли с этими задачами кто-то справится лучше».

Но строительство метро было и остается основным для нас. И в этой работе мы всегда находим что-то интересное, всегда идем вперед по пути развития. Например, односводчатая станция «Спортивная» уникальна? Безусловно.

Государственный Мариинский театр



фото Даниила Шкляра



Установка купола реактора на ЛАЭС-2, 12 января 2014 г.

В свое время планировалось построить две станции с пересадкой, но мы сказали, что будем делать одну. Долго спорили. Потом генпроектировщик – Ленметрогипротранс согласился с нашим предложением, запроектировал одностовчатую станцию. И мы ее построили. И таких примеров много в истории Метростроя.

– Все ли получилось, что планировали?

– Конечно же, нет. Но сделано, действительно, многое.

– Какой предпочитаете стиль руководства?

– Честный и открытый. Весь коллектив «Метростроя» от проходчика до генерального директора работает на благо нашего города. Каждый выполняет свою функцию, внося свой вклад в общее дело. И задача руководителя быть для каждого сотрудника не

сказать, чтобы отцом, но старшим товарищем. В 1990-е годы я не сидел в кабинете, я выходил и общался с бригадами, с проходчиками. Вместе с профсоюзом стоял у Смольного с транспарантами и требованием дать работу. И сегодня я открыт для каждого.

С другой стороны, я и от сотрудников требую отдачи. Спросить могу с каждого. Не мне оценивать, насколько такой стиль управления правильный, но раз 25 лет возглавляю организацию, значит, скорее всего, делаю то, что нужно.

– Как Вы оцениваете ситуацию в российском метростроении? Требуется ли этому сегменту написание отдельного антифизисного плана, или участники рынка устраивают меры, предпринимаемые правительством в отношении всей промышленности?

– Я уже говорил, что метростроение – очень специфическая отрасль, и ее хотелось бы централизовать под единым началом. Чтобы через центр обеспечивать единый технический прогресс, производить закупки и изготавливать оборудование, разрабатывать и внедрять технологии, делиться опытом. Но такого объединяющего стержня не осталось. Был Главтоннельстрой, Министерство, но все это кануло. Единственная в России организация, в составе учредителей которой, через правительство города, осталось государство – петербургский «Метрострой». В других городах метростроение уже полностью в частных руках, поэтому объединение уже невозможно. Метростроение нельзя нацеливать только на бизнес. Оно должно быть еще и государственным, потому что решает государственные задачи.

– В стране активно реализуется программа импортозамещения. Как «Метрострой» в ней участвует?

– Проблемы с замещением, конечно, есть, но мы стараемся их решать. В частности, прежде та же обделка для тоннелей практически полностью была из импортных составляющих. Начали искать отечественные аналоги. Российские предприятия готовы принимать заказы, вот только многие виды оборудования или материалов – штучный продукт, что сказывается на итоговой цене. Если поставить продукцию на поток, понятно, что ценообразование было бы более лояльно. А у нас порой такие цены выставляют, что проще снова закупиться за границей, у уже проверенных заказчиков. Тем не менее, традиционно многое мы делаем сами: так, приступили к изготовлению эскалаторов, электрооборудования и пр. На своей базе в Управлении механизации изготавливаем тюбингоукладчики, вагонетки и другое специализированное оборудование. В Туле, на Скуратовском опытно-эксперименталь-

Станция «Спортивная»



Вид на намывную территорию, на которой сооружается станция «Новокрестовская»



ном заводе, сделали прекрасный проходческий щит. Развиваем с ними сотрудничество, сделали заказ на оборудование по проходке вертикальных выработок. Для нас это серьезный технологический шаг вперед, в этом году испытаем это оборудование на наших объектах.

– Каков сегодня потенциал российских разработчиков и производителей оборудования для проходческих работ?

– К сожалению, российская промышленность значительно отстала в своем развитии от зарубежных предприятий. Если за рубежом, в той же Германии, производство проходческих щитов поставлено на поток и завод их изготавливает и продает по всему миру на протяжении уже более 50 лет, то у нас все ровно наоборот – на протяжении нескольких десятилетий ничего не изготавливалось. И сейчас получается, что заказать щит дешевле и быстрее именно за рубежом. Но тем не менее, эта ситуация может исправиться. Не сразу, но может. При условии, если заказы на разработку и изготовление щитов будут поступать планомерно и финансирование на их производство будет выделяться регулярно. Это опять к вопросу о централизованном управлении отраслью. Когда можно было бы четко рассчитать потребности, в соответствии с которыми заказывать оборудование на отечественных предприятиях.

– Какие задачи стоят перед «Метростроем» на ближайшие пять лет? Какие новые станции появятся на карте Петербургского метрополитена?



Щит Скуратовского завода

– Ближе всего пуск объектов Фрунзенской линии. Это последние на ней станции: «Проспект Славы», «Дунайский проспект» и «Южная». Мы надеемся, что достроим ее в 2017-м. Хотя по контракту срок сдачи – декабрь 2018-го. Дальше в планах продление Невско-Василеостровской линии со станциями «Новокрестовская» и «Беговая» – к Чемпионату мира по футболу, 2018 год. Еще далее – продление Лахтинско-Правобережной линии со станциями «Горный институт» и «Театральная», 2019 год. И, наконец, открытие новой линии, Красносельско-Калининской, пока планируется на 2022 год.

«Метрострой» создавался в 1941 году специально для строительства метро в нашем городе. И как человек, влюбленный в метростроение, всю жизнь отдавший этой отрасли, как почетный гражданин Санкт-Петербурга, я считаю себя ответственным за то, чтобы эта функция сохранялась за нашей организацией. К уже существующим 110 км пути нужно построить, по сегодняшним расчетам, еще километров 50. Введено в эксплуатацию 67 станций, нужны еще порядка 30. Так что будем работать.



Благодарим за помощь в подготовке интервью пресс-службу ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург



21 февраля 2016 г. исполнилось 75 лет Вадиму Николаевичу Александрову, генеральному директору ОАО «Метрострой» Санкт-Петербург, доктору транспорта, члену президиума правления Тоннельной ассоциации России.

Уважаемый Вадим Николаевич!

Тоннельная ассоциация России и ее Исполнительная дирекция сердечно поздравляют Вас со знаменательной датой.

Вы прошли сложный путь от мастера до руководителя одной из крупнейших метростроительных организаций России, проявив себя высококвалифицированным инженером, прекрасным организатором, и в настоящее время руководите многопрофильной организацией, которая возводит уникальные объекты метростроения и различные транспортные и инженерные сооружения.

Являясь крупным специалистом, ведущим метростроителем России, Вы много сделали и делаете для строительства метрополитена и других подземных сооружений своего родного города.

Приверженность к инновациям в подземном строительстве стала визитной карточкой Вашей трудовой деятельности. Новые эффективные способы укрепления грунтов, технология проходки наклонных ходов эскалаторных тоннелей метрополитенов, а также проходка двухпутных тоннелей метрополитена с применением механизированных комплексов – всего лишь немногий перечень из тех достижений, которых добился Ваш коллектив за последнее время. Особенно следует отметить Ваш личный вклад в строительство здания второй сцены Мариинского театра, новых блоков Ленинградской атомной электростанции, комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, что особенно актуально в наши дни.

Большое уважение заслуживает Ваше отношение к подготовке молодых специалистов, выдвижение их на ответственные должности, что полностью оправдано на практике.

Мы ценим Вас не только за профессионализм, но и за человеческие качества, которыми Вы наделены в полной мере. Многие деловые контакты и сотрудничество с Вами вызывают у нас чувство глубокого уважения и удовлетворения.

Тоннельная ассоциация России благодарит Вас за постоянную помощь и поддержку и выражает надежду, что наша совместная работа в будущем будет такой же плодотворной и востребованной.

Желаем Вам, Вадим Николаевич, крепкого здоровья, благополучия и дальнейших успехов в трудовой и творческой деятельности.

Правление Тоннельной ассоциации России



14 января 2016 г. ветерану Советского и Украинского метро-тоннелестроения Вячеславу Ивановичу Зозуле исполнилось 80 лет.

Всю свою трудовую жизнь Вячеслав Иванович посвятил развитию подземного строительства, работая в одной из ведущих метростроительных организаций – Киевметрострое.

Пройдя путь от молодого специалиста-инженера на подземных работах до заместителя начальника крупнейшего треста, В. И. Зозуля внес большой вклад в усовершенствование материально-технической базы Киевметростроя, раз-

работку и внедрение инновационных технологий, новых материалов и технических средств, а также в решение вопросов подбора, воспитания, расстановки и резерва кадров метростроителей, чем способствовал успешному решению задач метростроения еще в ряде городов Украины.

Неутомимая деятельность Вячеслава Ивановича распространялась не только на стройки Украины, но и еще ряд регионов (Армения, Москва и др.). Также он принимал участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Организационный талант и большой опыт Вячеслава Ивановича потребовался при создании Украинской государственной корпорации «Укрметротоннельстрой», где он в течение 16 лет занимал должность вице-президента.

Многолетний добросовестный труд В. И. Зозули отмечен целым рядом высоких наград и почетных званий СССР и Украины. Он и сейчас принимает активное участие в решении проблем метро-тоннелестроения, в том числе по линии Академии строительства Украины, членом-корреспондентом которой он является, поддерживает деловые и товарищеские отношения с коллегами по совместной работе в системе бывшего Главтоннельметростроя.

От имени всех тоннельщиков России поздравляем Вячеслава Ивановича Зозулю со славным юбилеем и желаем крепкого здоровья и долгих лет счастливой жизни.

Правление Тоннельной ассоциации России



1 февраля 2016 г. исполнилось 75 лет Льву Вениаминовичу Маковскому, известному педагогу и научному работнику, крупному специалисту в области транспортного тоннелестроения и городского подземного строительства, профессору, члену-корреспонденту РАЕН.

Лев Вениаминович Маковский, после окончания в 1963 г. МИИТа, начал свою трудовую деятельность начальником смены на Московском метрострое, затем работал старшим инженером в проектно-изыскатель-

ском институте «Метрогипротранс».

После окончания аспирантуры и защиты в 1969 г. кандидатской диссертации Лев Вениаминович переходит на преподавательскую работу на кафедре мостов, тоннелей и строительных конструкций МАДИ и посвящает свою жизнь научной работе и подготовке современных инженерных кадров для проектирования, строительства и эксплуатации мостов и тоннелей. С 2003 г. по настоящее время заведует этой кафедрой.

Под руководством и при участии Льва Вениаминовича Маковского проводятся исследования в области совершенствования конструкций, методов расчета и технологии строительства транспортных тоннелей и городских подземных сооружений. В частности, выполнены комплексные исследования прогрессивных ребристых обделок, опережающих экранов из труб и бетонных сводов, усовершенствованы технологии продавливания тоннелей и сооружения подводных тоннелей из опускных секций, разработаны эффективные способы применения технологии «стена в грунте» при сооружении транспортных тонне-

лей, предложены методы обеспечения экологической безопасности подземного строительства и др.

Результаты его исследований нашли отражение в руководящих и отраслевых нормативных документах, реализованы при проектировании и строительстве тоннельных объектов.

Лев Вениаминович Маковский постоянно поддерживает творческие научные связи с ведущими проектными, строительными и эксплуатационными организациями, научно-исследовательскими и учебными институтами. Обладая глубокими знаниями, богатым опытом и эрудицией в области подземного строительства, он неоднократно выступал экспертом при рассмотрении крупнейших тоннельных проектов, участвовал в обследованиях и испытаниях многих подземных сооружений.

Лев Вениаминович – автор около 300 печатных работ, в числе которых 15 учебников и учебных пособий, 10 монографий, 12 авторских свидетельств на изобретения и 4 патента. Под его руководством защитили кандидатские диссертации 15 аспирантов.

За свою активную научно-педагогическую деятельность Лев Вениаминович награжден медалью «850-летия Москвы», знаками «За отличные успехи в работе высшей школы», «Почетный транспортный строитель», «Почетный строитель России», «Почетный дорожник России», «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации», «Почетный работник транспорта России».

Наряду с научной и преподавательской работой он много внимания уделяет и общественной работе – является членом правления Тоннельной ассоциации России, членом редколлегии журнала «Наука и техника в дорожной отрасли», членом научно-технического совета Ассоциации дорожных проектно-изыскательских организаций «РОДИОС».

Присущие Льву Вениаминовичу Маковскому высокое чувство долга, скромность, интеллигентность, отзывчивость и доброжелательностьнискали уважение коллег и учеников, всех, кто работал и работает с ним.

Дорогой Лев Вениаминович! Президиум правления Тоннельной ассоциации России поздравляет Вас с 75-летним юбилеем, благодарит за многолетнее сотрудничество с нашей организацией и желает Вам огромного здоровья и долгих лет активной научной и преподавательской жизни, чувства гордости за своих учеников, счастья Вашим родным и близким.

**30 декабря 2016 г. Владимиру Александровичу Ходошу исполнилось 90 лет!**

Владимир Александрович родился 30 декабря 1925 г. Юные его годы совпали с началом Великой Отечественной войны и именно тогда сформировался его стойкий, упорный и мужественный характер, умение достигать успеха в самых трудных жизненных ситуациях. В конце 1943 г. он заканчивает 1-е Томское артиллерийское училище и с начала 1944 г. принимает участие в боевых действиях в качестве командира артиллерийских подразделений разного уровня.

После войны, окончив МВТУ им. Баумана, Владимир Александрович прошел большой и насыщенный яркими событиями трудовой путь, всецело посвятив его вопросам механизации тяжелого труда строителей транспортных тоннелей и метрополитенов. На протяжении более 50-ти лет работы в институте «Метрогипротранс» и в Специальном конструкторско-технологическом бюро по метро- и тоннелестроению, он со своими коллегами разработал многие технологии строительства подземных сооружений и эффективные образцы новых машин и механизмов для их реализации. Созданные под руководством

Владимира Александровича технологии и средства механизации с успехом применялись при строительстве метрополитенов в городах России и стран СНГ, тоннелей на Байкало-Амурской железнодорожной магистрали и железнодорожной линии Иджеван – Раздан, ускорителя в Протвино, многих других подземных сооружений.

В. А. Ходош является участником ликвидации последствий на ЧАЭС.

Уникальные инженерные знания и присущие Владимиру Александровичу свойства талантливого организатора научно-технического сопровождения сложных подземных сооружений позволили ему в 1975 г. возглавить группу советских инженеров и рабочих, оказавшую чехословацким специалистам помощь во внедрении на строительстве тоннелей Пражского метрополитена под р. Влтава новых технологий и оборудования, разработанных советскими специалистами.

В. А. Ходош – кандидат технических наук, является автором 86 изобретений и 60 печатных работ, награжден орденами и медалями СССР за участие в Великой Отечественной войне и за высокие достижения в производственной деятельности. Огромный созидательный, творческий вклад Владимира Александровича в проектирование и строительство транспортных тоннелей и сооружений отмечен вручением ему Государственной премии СССР и премии Совета Министров СССР, присвоением званий «Почетный строитель России» и «Почетный транспортный строитель».

Особенно приятно отметить, что В. А. Ходош являлся активным сторонником создания Тоннельной ассоциации России и многие годы активно участвовал в ее работе.

Уважаемый Владимир Александрович! Президиум правления Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляет Вас со знаменательным юбилеем и благодарит за неоценимый творческий вклад в наше общее дело – строительство и проектирование транспортных тоннелей и метрополитенов. Желаем Вам крепкого здоровья на многие-многое годы жизни, счастья и благополучия.

**2 февраля 2016 г. исполняющему обязанности генерального директора ООО «Херренкнехттоннельсервис» Хеннингу Йоханнису исполнилось 50 лет.**

Хеннинг Йоханнис родился 2 февраля 1966 г. в городе Магдебург. После учебы в школе поступил в Ленинградский инженерно-строительный институт.

После получения диплома в 1990 г. начал трудовую деятельность в немецкой строительной компании «Филипп Хольцман» в должности начальника участка Управления механизации. С

1994 г. стал заниматься тоннелестроительной техникой. Участвовал в строительстве метро в городах Кельн и Мюльхайм.

С 1996 г. работал в немецко-голландском консорциуме КМВ на строительстве тоннеля под заливом Вестершельде в Голландии.

В 1999 г. Хеннинг Йоханнис пришел в компанию «Херренкнехт АГ».

Трудовую деятельность в Москве начал в 2000 г. с основанием компании ООО «Херренкнехттоннельсервис». В должности руководителя проектов трудился над сопровождением проекта по строительству Лефортовского тоннеля.

В 1999 г. осуществляется поставка тоннелепроходческого комплекса диаметром 14,2 м для прокладки Лефортовского тоннеля (участка 3-го транспортного кольца в Москве), строительство которого завершено в 2003 г. Строительство велось ОАО «Корпорация «Трансстрой».

2004–2006 г. – строительство двух Серебряноборских тоннелей с применением тоннелепроходческого комплекса диаметром 14,2 м. Строительство велось ОАО «Мосметрострой».

Поставка тоннелепроходческого комплекса диаметром 6,28 м для строительства сервисного тоннеля в Серебряном Бору. Строительство велось ОАО «Мосметрострой».

2005 г. – поставка тоннелепроходческого комплекса диаметром 6,25 м для строительства тоннелей Строгинской линии метрополитена в Москве. Строительство велось ОАО «Трансинжстрой».

2008 г. – поставка тоннелепроходческого комплекса диаметром 6,25 м для строительства тоннелей Люблинско-Дмитровской линии метрополитена в Москве. Строительство ведется ОАО «Трансинжстрой».

Также Хеннинг Йоханнис участвует в проектах по строительству тоннелей в Сочи к открытию Олимпийских объектов, метро в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде к Чемпионату мира по футболу.

В 2007 г. Хеннинг Йоханнис возглавил отдел продаж больших машин уже как технический директор компании ООО «Херренкнехттоннельсервис», а сегодня он – исполняющий обязанности генерального директора ООО «Херренкнехттоннельсервис».

В прошлом году Хеннинг Йоханнис от всего коллектива компании «Херренкнехт АГ» и лично от председателя совета директоров, доктора-инженера Мартина Херренкнехта принимал поздравления с 15-летием плодотворной и успешной трудовой деятельности в компании «Херренкнехт АГ». С благодарностью отмечал вклад в развитие немецко-российских партнерских отношений в области тоннелестроения, благодаря успешной реализации крупнейших строительных объектов в России.

В настоящее время в сфере строительства тоннелей большого диаметра в России работает 21 щит компании «Херренкнехт».

Дорогой Хеннинг! Тоннельная ассоциация России от всей души поздравляет Вас с 50-летием с пожеланиями крепкого здоровья, счастья и благополучия.

Правление Тоннельной ассоциации России

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА ПРИГРУЗА ЩИТОВОЙ ПРОХОДКИ В СЛОЖНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ МЕТРО

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JUSTIFICATION FOR SELECTING THE FACE SUPPORT TYPE OF THE SHIELD IN COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS DURING SUBWAY TUNNELS CONSTRUCTION

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

С. В. Мазеин, д. т. н., Тоннельная ассоциация России

Б. И. Федунец, д. т. н., проф., Горный институт НИТУ «МИСиС»

S. G. Elgaev, Russian Tunneling Association

S. V. Mazein, Russian Tunneling Association

B. I. Fedunetz, Mining Institute of NITU MISiS, Moscow

В статье даны обзор особенностей типов ТПМК с активным пригрузом забоя и анализ рекомендаций по применению способов пригруза. На примере конкретного участка строительства Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена проведен анализ соответствия инженерно-геологических условий и выбираемого типа ТПМК. Краткий обзор истории применения ТПМК с активным пригрузом также служит обоснованием сформулированных рекомендаций по выбору типа пригруза щитовой проходки.

The article provides an overview of the TBM types features and active face earth pressure, analysis recommendations for application of the face support methods. For example, a Kalininsko-Solncevskaja line construction – matching analysis of engineering geological conditions and selectable TBM type. A brief overview of TBM earth pressure history also serves as justification for the recommendations for choosing the type of shield tunneling face support.

Введение

Целью исследования является разработка рекомендаций по выбору тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) для сооружения перегонных тоннелей на основании анализа инженерно-геологических условий участка строительства метро.

Объектом исследования служат исходные данные проекта строительства участка от ст. «Озерная площадь» до ст. «Терёшково» Калининско-Солнцевской линии Московского метрополитена.

Обзор особенностей типов ТПМК с активным пригрузом забоя

Обеспечение сохранности подземных выработок и окружающего грунтового массива при проходке в неоднородных грунтах со значительным гидростатическим давлением является главным фактором при выборе технологии механизированной проходки перегонных тоннелей метро щитами с активным пригрузом забоя [1].

В мировом тоннелестроении сложились два наиболее эффективных способа активного пригруза – гидравлический (гидропригруз) и грунтовой (грунтопригруз), каждый из которых имеет предпочтительные области применения и технологические особенности (рис. 1), выявленные еще в начале отечественной эксплуатации щитов с активным пригрузом забоя [2].

При тоннельной проходке щитами с закрытой головной частью в нарушенных породах должно

поддерживаться состояние равновесия с помощью специальной среды, противодействующей давлению грунта и воды. Управление щитом с гидропригрузом забоя предполагает оперативное регулирование давлением и расходом пригрузной суспензии, поскольку давление пригруза должно уравнивать грунтовое и гидростатическое давление забоя.

Расход циркулирующей суспензии при этом должен обеспечивать выдачу разработанного грунта из призабойной камеры по мере его отработки.

В противоположность щитам, работающим с гидравлическим пригрузом, при щите с грунтовым пригрузом нет искусственной поддерживающей среды (например, бентонитовой суспензии), а в качестве нее действует разрабатываемый ротором и пластифицированный пенными и/или полимерными добавками грунт. Управление щитами с грунтопригрузом забоя представляет собой более сложную задачу. Регулирование давления пригруза забоя производится управлением частотой оборотов шнекового конвейера, контроль – с помощью непосредственного измерения давления грунта на призабойную перемычку щита, либо косвенно по массе поступающего со шнекового конвейера разработанного грунта.

Регулирование давления пригруза, гарантирующее сохранение устойчивости забоя, и надежное предотвращение осадки земной поверхности легче осуществлять с помощью пневматической

подушки в рабочей камере (рис. 1а, поз. 5) щита с *гидропригрузом*. Кроме того, с помощью датчиков давления в гидроцилиндрах подачи ротора гидропригрузного щита есть возможность контролировать давление как со стороны массива при проходке, так и со стороны бентонитовой суспензии, что позволяет оперативно поддерживать оптимальное соотношение этих давлений [3].

Добиться аналогичной степени точности управления режимом поддержания стабильности забоя при грунтовом пригрузе крайне трудно вследствие присущей ему замедленной реакции на управляющие команды.

Доступ персонала в забой щита с гидропригрузом при необходимости осуществляется в считанные минуты. Аналогичная операция при грунтовом пригрузе гораздо более трудоемка.

Отбор части спрессованного грунта из призабойной камеры и замещение его сжатым воздухом занимают много времени и могут вызвать определенные затруднения, тем более что при этом увеличивается опасность утечек сжатого воздуха и потери устойчивости забоя.

При проходке тоннелей в грунтах с включениями валунов в щитах с гидропригрузом в призабойной зоне размещается дробильная установка, и разрушенные части валуна удаляются по трубопроводам вместе с грунтовой смесью. В щитах с *грунтопригрузом* наличие валунов вызывает значительные осложнения, так как части валунов не могут транспортироваться через шнековый конвейер. Опыт применения щитов с активным пригрузом забоя свидетельствует, что грунтовый пригруз менее эффективен в водонасыщенных крупно-песчаных грунтах и галечниках.

Исходя из условий заложения трассы, геологических и гидрогеологических характеристик грунтов, можно достаточно надежно выбрать способ пригрузки забоя. Особенно важна информация инженерно-геологических изысканий, так как конструкция проходческого комплекса должна быть максимально адаптирована к геологическим условиям. Это позволяет избежать возможных рисков при проходке тоннелей в сложных городских условиях, приспособлять технологию работ к условиям конкретного объекта, делать ее более безопасной и более эффективной для подземного строительства.

Анализ рекомендаций по применению способов пригрузки

Ограничение области применения способов пригрузки долгое время диктовалось гранулометрическим составом разрабатываемого грунта. Щиты с *грунтопригрузом* применялись для проходки в тонкозернистых грунтах, а *гидропригрузные* щиты – в смешанных и грубозернистых водонасыщенных грунтах. Гранулометрические кри-

вые частицы грунта, встречающегося при щитовых проходках, чаще всего указывают на широкие и взаимно пересекающиеся области применения рекомендуемых способов пригрузки.

В плывунах грунтовый пригруз забоя оказывается малоэффективным: труднее по сравнению с *гидропригрузным* щитом осуществляется доступ в забой, возможны более значительные осадки поверхности из-за менее управляемого процесса пригрузки забоя и кондиционирования грунта добавками [4].

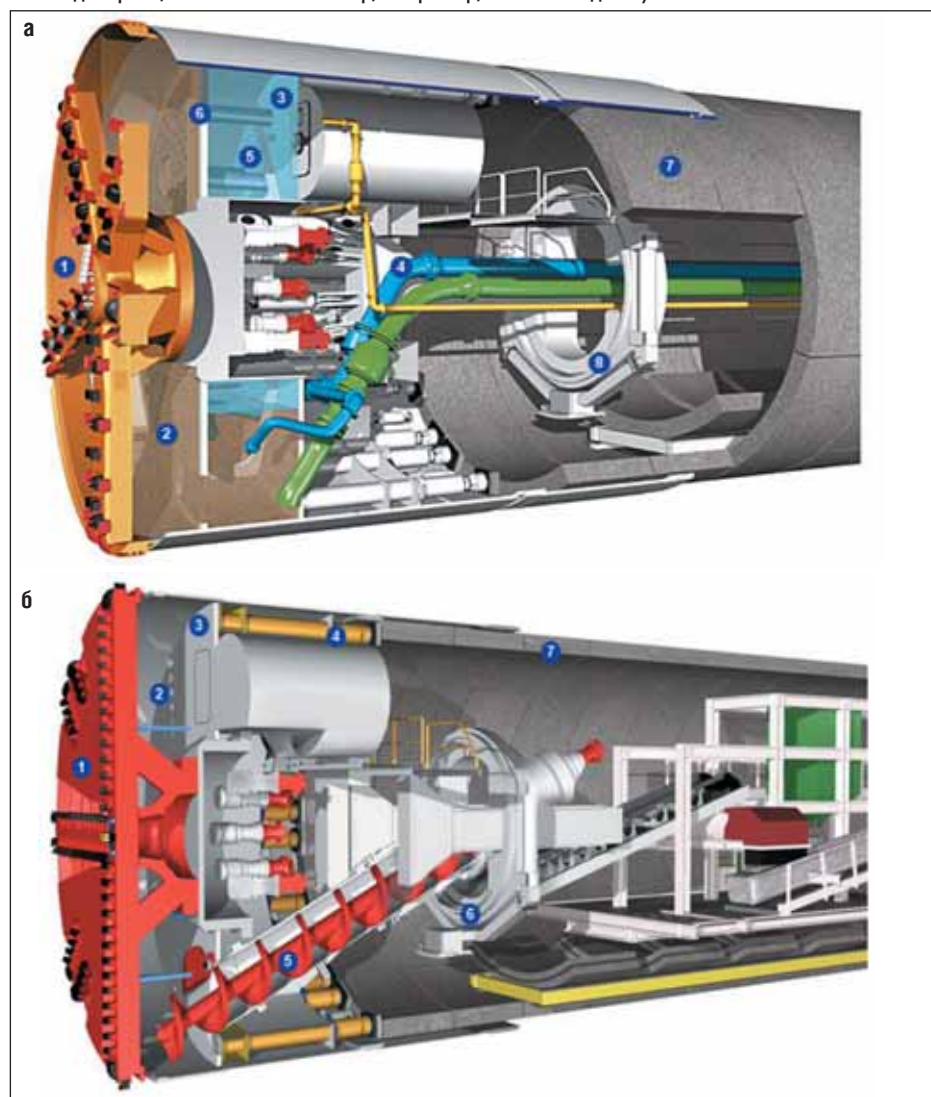
Выбор конструкции проходческих щитов и соответствующих способов их активного пригрузки для строительства тоннелей продиктован, прежде всего, возможностями обеспечения их заданных поперечных сечений и высокой скорости проходки, безопасной для персонала и наземных сооружений эксплуатации проходческих комплексов. Также важно достижение хорошего качества выполненной тоннельной отделки, которая, как

правило, сооружается герметичной, при этом не нарушается и городская поверхность над тоннелем.

Одной из самых важных качественных характеристик городской поверхности в зоне влияния строительства тоннеля является достигаемое значение осадки в центре мулды оседания над тоннелем, уменьшающееся с увеличением глубины заложения сооружаемого тоннеля при прочих равных условиях.

Согласно имеющимся данным, усредненные показатели средних и максимальных значений достигаемых осадок (во внимание не принимались единичные случаи аварий) для щитов с *гидропригрузом* составляют соответственно 6 и 11 мм, что в 2–2,5 раза ниже, чем для щитов с *грунтопригрузом* [5]. Это свидетельствует о более эффективной работе технологии *гидропригрузки*, особенно в водонасыщенных грунтах. Постоянное давление несжимаемой суспензионной среды *гидропригрузки* создает идеальные условия для

Рис. 1. Разновидности щитов с активным пригрузом забоя: а – щит с *гидропригрузом* (1 – планшайба; 2 – призабойная камера; 3 – шлюзовая камера; 4 – трубопровод для подачи бентонитовой суспензии; 5 – рабочая камера давления с воздушной подушкой; 6 – полупогружная перегородка; 7 – блоки отделки; 8 – эректор); б – щит с *грунтопригрузом* (1 – планшайба; 2 – призабойная камера; 3 – шлюзовая камера; 4 – проходческие домкраты; 5 – шнековый конвейер; 6 – эректор; 7 – блоки отделки)



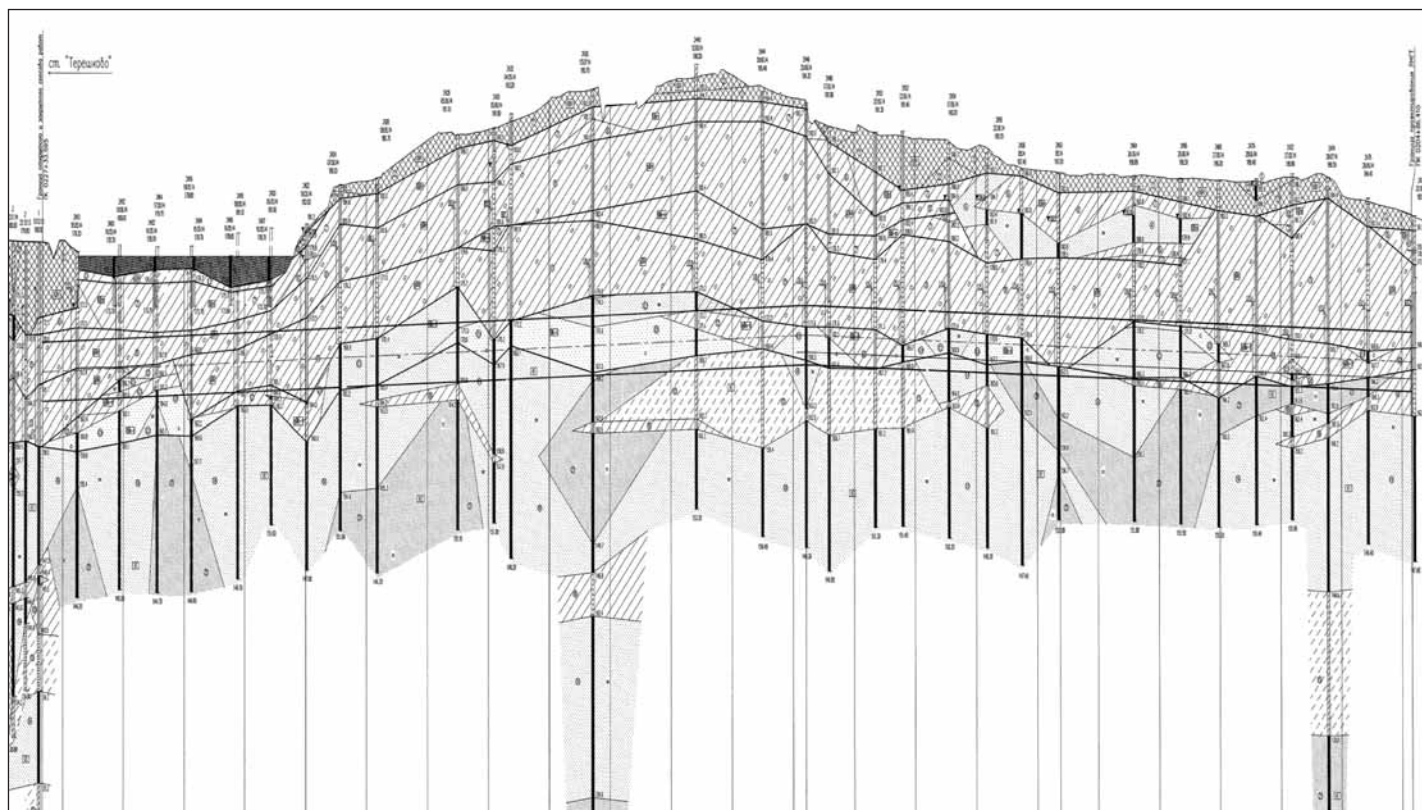


Рис. 2. Фрагмент продольного геологического разреза по трассе тоннеля

противодействия давлению и экструзии неустойчивого грунтового массива, а также для полноты нагнетания раствора за тоннельную обделку [6].

Анализ соответствия инженерно-геологических условий и типа ТПМК

Анализируем соответствие инженерно-геологических условий классическому ди-

апазону применения способов пригруза (рис. 2, табл. 1).

Предпочтителен тип ТПМК с гидропригрузом. Гидропригруз является предпочтительным способом пригруза из-за высокой проницаемости грунтов и возможной встречи валунов. Применение типа ТПМК с грунтопригрузом не исключается.

Кратко проанализируем особенности пригруза и стабильность забоя при двух типах ТПМК с разным способом пригруза.

Предпочтителен тип ТПМК с гидропригрузом из-за более точной регулировки пригруза и менее значительных оседаний земной поверхности, что показало критериальное сопоставление пригруза и стабильности забоя для разных типов ТПМК (табл. 2).

Таблица 1

Классический диапазон применения щита с грунтовым пригрузом / с гидропригрузом и геология перегона «Терешково» – «Озерная площадь»

Инженерно-геологические условия	Грунтовой пригруз	Гидравлический пригруз с помощью бентонита
Для классического диапазона применения щита ТПМК	1) В связном грунте (суглинков вплоть до мелкого песка), в забойной камере применяется пластификация грунта добавками 2) Возможное применение при 20 % доли мелкого песка вплоть до песка средней крупности 3) Управление давлением пригруза грунта до 3,0 бар в связном грунте	1) В несвязном грунте (песок и гравий), создается бентонитовая мембрана на поверхности забоя, постоянное давление бентонита в забое 2) Применение в связном грунте зависит от возможностей сепарационной установки 3) Управление давлением пригруза до 8,0 бар независимо от типа грунта
Для перегона «Терешково» – «Озерная площадь»: - 49 %: суглинки пылеватые тугопластической консистенции, с включениями щебня, гравия и редких валунов; - 51 %: пески средней крупности и мелкие водонасыщенные с включениями супеси (напор грунтовых вод 3–10 м)	1) Высокая проницаемость грунта и низкая стабильность забоя в песке говорят против использования щита с грунтопригрузом 2) Крупные куски породы и валуны могут стать проблемой 3) Разработка суглинков хорошо управляема	1) Годится для специального использования в песчаных грунтах до гравийных включений 2) Крупные куски породы и валуны размельчаются с помощью камнедробилки 3) Пылеватые суглинки требуют расчета мощности сепарации (дополнительные пресс-фильтры)

Необходимо провести дополнительное исследование влияния оседания грунта над тоннелем на состояние склона пруда вдоль трассы.

Применение типа ТПМК с грунтопригрузом не исключается.

Проанализируем сопутствующие проходке технологические операции, такие как разработка и доставка грунта (табл. 3).

При равнозначности для выбора способов разработки и доставки грунта применение ТПМК с грунтопригрузом предпочтительней из-за цены.

Проанализируем трудности операции доступа к забою, необходимого для замены режущего инструмента (табл. 4). На участке прогнозируется износ режущего инструмента из-за разработки песка с абразивными свойствами и возможной встречи валунов. Во время проходки под озером не рекомендуется планировать остановки с проведением кессонных работ по замене режущего инструмента.

Предпочтителен тип ТПМК с гидропригрузом (см. табл. 4) из-за лучшего доступа к забою при кессонных работах. Применение типа ТПМК с грунтопригрузом не исключается.

Краткий обзор истории применения ТПМК с активным пригрузом

подавляющее большинство ТПМК при строительстве Московского метрополитена применяется с грунтопригрузом при

обязательном расчете его рекомендуемого давления [7].

Как правило, из-за наличия единственного щита с гидропригрузом второй тоннель перегона проходится щитом с грунтопригрузом с большей производительностью проходки (примеры: участок от Серебряного Бора до ст. «Строгино», «Шипиловская» – «Борисово», «Саларьево» – «Тропарево») в целях ускорения строительства перегона.

Реальный риск длительной остановки проходки встречей валунов и плавбуна (пример: ПК151+70 левого перегонного тоннеля к ст. «Петровский Парк») [8] ведет к предпочтению типа щита ТПМК с гидропригрузом, если данный щит обладает удовлетворительным остаточным ресурсом наработки основных узлов, особенно главного подшипника и дробилки.

Выводы и рекомендации

1. Для сооружения перегонных тоннелей в проанализированных условиях на данном участке в принципе подходят как ТПМК с гидропригрузом, так и с грунтопригрузом.

2. Предпочтительным является применение ТПМК с гидропригрузом по следующим причинам:

- встреча грунтов высокой проницаемости с плавунными свойствами и возможно валунов;
- более точная регулировка пригруза;
- менее значительное оседание земной поверхности;

• лучший доступ к забою при кессонных работах.

3. Примеры показывают, что из-за наличия единственного щита с гидропригрузом второй тоннель перегона проходится щитом с грунтопригрузом в целях ускорения строительства перегона.

4. Применение типа ТПМК с грунтопригрузом на втором перегонном тоннеле не исключается при разработке мероприятий по минимизации рисков разработки проницаемых грунтов и встречи с валунами.

5. Рекомендуемые мероприятия по минимизации рисков при использовании грунтопригруза при проходке второго тоннеля:

- проведение мониторинга выдаваемого грунта и параметров ТПМК при проходке первого тоннеля;
- использование результатов мониторинга для проходки второго тоннеля;
- выбор ТПМК со шнековым транспортером без центрального вала (для пропуска валунов большого диаметра);
- предварительный выбор по трассе мест стоянок для замены режущего инструмента (участки устойчивых или закрепленных грунтов);
- подбор по крайней мере трех рецептов добавок для кондиционирования водонасыщенного грунта: 1) суглинка, 2) песка и 3) суглинка и песка (соотношение 1:1).

Таблица 2

Критериальное сопоставление пригруза и стабильности забоя

Перегон «Терёшково» – «Озерная площадь». Проходка	Грунтовый пригруз	Гидравлический пригруз с помощью бентонита
Пригруз и стабильность забоя. Общие положения	Давления грунтовой воды и грунта выравниваются с помощью пластифицированной пульпы в рабочей камере	Давления грунтовой воды и грунта выравниваются за счет бентонитовой суспензии в рабочей камере
Пригруз и стабильность забоя в водонасыщенных песках и суглинках, содержащих валуны	1) Неточный и ненадежный грунтовый пригруз в крупнозернистом песке и при валунах размером до 500 мм 2) Образование пробок или течей в шнековом транспортере, тогда давление грунта и воды невозможно удерживать 3) Высока опасность оседания земной поверхности в проницаемых грунтах из-за их нестабильного поведения	1) Точная и быстрая регулировка пригруза при нестабильном поведении грунта из-за его высокой водопроницаемости 2) Повышенная надежность от оседаний в проницаемом грунте при небольших перекрытиях под озером 3) Незначительный риск оседания грунта вокруг незатампонированных скважин
Контроль пригруза и управление стабильностью забоя в водонасыщенных песках и суглинках, содержащих валуны	1) Повышенные расходы и затраты для обработки песка при создании надежной опорной среды пригруза против оседаний земной поверхности 2) Водонасыщенные проницаемые грунты требуют особой рецептуры добавок 3) Тормозится выяснение регулирующих и контрольных характеристик 4) Регулировка давления пригруза зависит от многочисленных параметров	1) Повышенная безопасность при незначительном удалении от фундаментов жилых построек и при малом перекрытии 2) Давление водонасыщенных грунтов хорошо компенсируется давлением бентонита 3) Точные контрольные и регулирующие характеристики 4) Соответствие пригруза благодаря давлению воздуха перед забоем

Таблица 3

Разработка и доставка грунта в тоннеле «Терёшково» – «Озерная площадь»

Сопутствующие операции	Грунтовый пригруз	Гидравлический пригруз с помощью бентонита
Режущий инструмент и его износ	Стандартный инструмент для рыхлых горных пород (резцы, ковши и шарошки). Не ожидается значительных расхождений между типами пригруза в комплектации режущего инструмента	
Месячная производительность проходки	На 15 % выше из-за ширины колец обделки (1,4 м)	На 15 % ниже из-за ширины колец обделки (1,2 м) и затрудненной сепарации суглинка
Доставка грунта	Шнековый транспортер: 1) тяжело проводить регулировку давления в проницаемом грунте Ленточный конвейер: 2) борьба с налипанием глин промывкой ленты 3) остановки на наращивание длины ленты 4) протяженный котлован для наклонного конвейера доставки грунта на поверхность или вертикальный конвейер	Бентонитовый контур: 1) регулировка давления с помощью насосов с рассредоточенными по забою подающими трубами бентонита и сжатого воздуха 2) увеличение потока при осаждении глин в трубах 3) холостой цикл до начала транспортирования 4) компактный трубопровод при доставке грунта по вертикали на поверхность
Работы с кусками большого размера (до 500 мм)	Трудности при экскавации и транспортировке валунов по шнековому транспортеру	Камнедробилка установлена для больших и крепких кусков, подвержена износу
Дополнительные расходы	Проходческий комплекс дешевле	Комплекс дороже из-за наличия сепарационной установки

Таблица 4

Доступ к забою при кессонных работах

Доступ к забою	Грунтовый пригруз	Гидравлический пригруз с помощью бентонита
Вход в забой и частичное опорожнение среды пригруза	1) Вход в забой с проницаемым грунтом рекомендуется только с помощью защитной мембраны при сжатом воздухе 2) Трудности при замене защитной мембраны при нестабильном поведении груды забоя (при замене опорной среды пластифицированного грунта на бентонитовую суспензию) 3) Трудности при возобновлении проходки, после частичного удаления проницаемого грунта из забойной камеры	1) Создание бентонитовой мембраны подачи свежей бентонитовой суспензии 2) Улучшенный пригруз забоя благодаря созданию бентонитовой корки, подача сжатого воздуха создает контролируемую стабильность груды забоя 3) Запуск проходки после кессонных работ упрощен из-за быстрого заполнения забойной камеры бентонитом

Ключевые слова

ТПМК с гидропригрузом, ТПМК с грунтопригрузом, инженерно-геологические условия, риски проходки тоннеля.

Slurry-TBM, EPB-TBM, engineering-geological conditions, tunneling risks.

Список литературы

1. Соломатин Ю. Е., Потапов М. А., Мазеин С. В. Активный пригруз забоя при щитовой проходке как фактор обеспечения сохранности существующей застройки мегаполиса // Транспортное строительство. – 2013. – № 5. – С. 7–10.
2. Мазеин С. В., Соломатин Ю. Е. Активный пригруз забоя. Большие миксциты «Херренкнехт» в Москве // Метроинвест. – 2004. – № 4. – С. 18–22.
3. Мазеин С. В. Использование характеристик прижима ротора для контроля запаса суспензионного пригруза при тоннельной щитовой проходке // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 3. – С. 2–8.
4. Федунец Б. И., Мазеин С. В., Потапов М. А. Обоснование применения по строительно-технологическим воздействиям пенотрунтовой компенсации в щитовом забое // Метро и тоннели. – 2012. – № 5. – С. 18–21.
5. Мазеин С. В., Потапов М. А. Анализ параметров современных щитов с разным типом пригруза, применяемых в метростроении с минимальными осадками городской поверхности // Тр. 4-й междунауч. техн. конф. «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве тоннелей и освоении подземного пространства крупных мегаполисов». – М. – 2010. – С. 128–130.
6. Мазеин С. В. Контроль инъекционного давления твердеющего раствора за обделкой тоннеля и проходческим щитом // Горное оборудование и электромеханика. – М. – 2009. – № 11. – С. 41–45.
7. Стандарт СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011 Освоение подземного пространства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки (утв. 05.12.2011 г.). – М.: ООО Издательство «БСТ», 2013. – 74 с.
8. Мазеин С. В., Лехт В. В., Прудников А. Д. Анализ инженерно-геологических условий при выборе профиля перегонного тоннеля для повышения безопасности и технико-экономических характеристик строительства // Метро и тоннели. – 2015. – № 6. – С. 22–26.

Для связи с авторами

Елгав Сергей Григорьевич
info@rus-tar.ru
Мазеин Сергей Валерьевич
maz-bubn@mail.ru
Федунец Борис Иванович
fedunets@msmu.ru



С НАМИ СТРОИТЬ ЛЕГКО!



✓ **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО
подземных частей технически сложных
и уникальных объектов:**

подземные автостоянки;
транспортные развязки;
гидротехнические сооружения

✓ **ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ**

✓ **ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ**

✓ **УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ**

✓ **ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ
на памятниках истории и архитектуры**



реклама



реклама

г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35 тел. факс: (342) 236 90-70

ИЖЕВСК	(3412) 56-62-11	САМАРА	(846) 922-56-36
КРАСНОДАР	(861) 240-90-82	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ	(812) 923-48-15
КРАСНОЯРСК	(391) 208-17-15	ТЮМЕНЬ	(3452) 74-49-75
КАЗАНЬ	(843) 296-66-61	УФА	(917) 378-07-48
МОСКВА	(495) 643-78-54	ЧЕЛБИНСК	(351) 235-97-98



ОАО «НЬЮ ГРАУНД»

www.new-ground.ru
info@new-ground.ru



СТРОЙПЛОЩАДКИ НА ПЕРЕГОНАХ: НЕИЗБЕЖНОСТЬ ИЛИ АНАХРОНИЗМ?

CONSTRUCTION SITE ON SUBWAY TRACK: INEVITABLE OR ANACHRONISM?

С. Г. Елгаев, С. В. Мазеин, М. А. Мутушев, доктора технических наук, Тоннельная ассоциация России

S. G. Elgaev, S. V. Mazein, M. A. Mutushev, Russian Tunneling Association

В статье обосновывается возможность исключения устройства притоннельных сооружений на перегонах между станциями за счет внедрения инновационных технических решений. Таким образом сокращается использование наземных территорий для создания и функционирования инженерных систем метрополитена.

Due to introduction of innovative technical solutions in the article substantiates the ability to exclude device tunnel structures on the subway track between the stations. Thus decreasing the use of terrestrial territories for the establishment and operation of subway engineering systems.

«Проектировать вспомогательные подземные сооружения следует так, чтобы по окончании строительства можно было в максимальной степени использовать их для нужд постоянной эксплуатации тоннеля. Места расположения стволов обязательно увязывают с принятой системой вентиляции тоннелей – для рационального использования их в качестве постоянных сооружений».

Эта цитата из книги Е. А. Величина, П. Т. Ленеца «Строительство тоннелей и метрополитенов» [1] показывает, что еще не так давно строительство тоннелей метрополитенов нельзя было представить без стволов на перегонах. А оптимизация строительства достигалась за счет последующего использования рабочих стволов в интересах постоянных сооружений. К этим сооружениям относятся, в основном, водоотливные установки с сантехническими скважинами и стволами, а также вентиляционные камеры со стволами.

Строительство стволов сопряжено с большими организационными и техническими трудностями, такими как отведение и организация строительных площадок, перекрытие уличного движения, перекладка городских инженерных коммуникаций, нанесение ущерба природным комплексам и пр.

Выполнение всех этих мероприятий требует значительных средств и существенно удлиняет общий срок строительства линии метрополитена.

Что касается рабочих стволов, предназначенных для открытия забоев и ускорения сроков проходки тоннелей, то эта тема была актуальна в прошлом, когда скорость проходки составляла 2–3 кольца в сутки. Тогда обойтись одними только забоями, открываемыми с пристанционных стволов (щитовых камер), не представлялось возможным, и на перегонах организовывались дополнительные забои. В настоящее время скорости проходки, с помощью современных ТПМК, выросли многократно [2] и потребность в дополнительных забоях и, соответственно, в рабочих стволах на перегонах отпала. Пристанционные же стволы (щитовые камеры) создаются в едином комплексе станционных сооружений и впоследствии используются в интересах вентиляции, водоотлива и др.

Отсюда вытекает, что если бы удалось отказаться от строительства притоннельных сооружений на перегонах, создаваемых в интересах постоянной эксплуатации, или их сооружать без вскрытия земной поверхности, то это бы дало возможность избежать ус-

тройства стройплощадок на перегонах со всеми вытекающими отсюда преимуществами: удешевление и ускорение строительства, исключение организационных трудностей, экологического ущерба и пр.

В этой связи необходимо отметить, что за последние годы предложен целый ряд инновационных технических решений, позволяющих обойтись без создания строительных площадок на перегонах [3]. Очень важно, что эти технические решения не только исключают устройство перегонных стройплощадок, но и качественно улучшают технологические характеристики постоянных систем.

АО «Метрогипротранс» разработало систему тоннельной вентиляции, защищенную патентом РФ № 126368 [4], показанную на рис. 1.

Здесь каждый тоннель 1 снабжен приточной вентиляционной камерой 2, нагнетательный канал которой 4 примыкает к тоннелю 1 под углом, обеспечивающим приток воздуха в тоннель. Кроме того, в торцах станций 6 установлены струйные вентиляторы 7.

Раздельная вентиляция каждого тоннеля дает возможность обеспечить 100-% использование температурного потенциала воздуха, и тем самым – уменьшение его количества и, соответственно, сечения каналов 4, 5.

Рис. 1

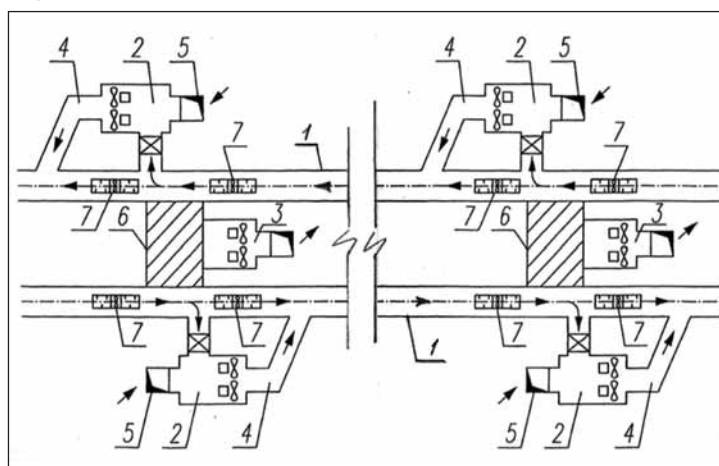
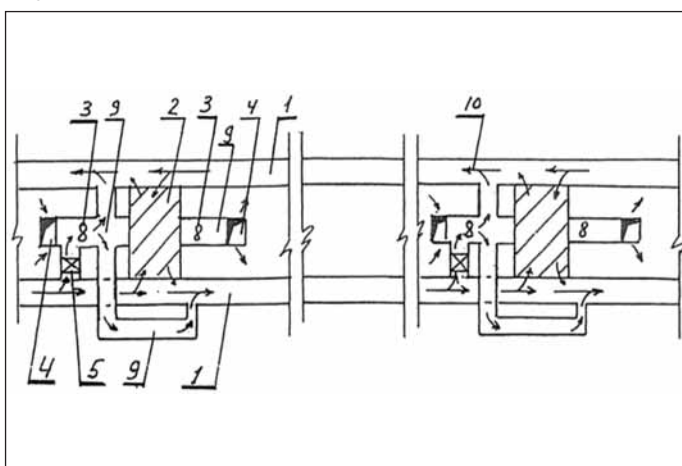


Рис. 2



Необходимость строительства венткамер на перегонах отпадает.

Тоннельной ассоциацией России совместно с АО «Метротранс» разработан «Способ вентиляции метрополитена» (патент РФ № 2462595) [5], схема которого показана на рис. 2.

Суть изобретения заключается в том, что система тоннельной вентиляции работает по квазизамкнутому циклу (с частичной рециркуляцией воздуха).

Приточно-вытяжная составляющая системы работает с производительностью, обеспечивающей поддержание санитарных норм воздушной среды в подземном сооружении. Обеспечиваются и другие нормативные требования (кратность воздухообмена, скорость струи, дымоудаление в случае пожара и др.). Ассимиляция же теплоизбытков осуществляется путем термодинамической обработки рециркуляционного воздуха в камере 5. В этой камере устанавливаются воздухоохладители поверхностного типа, при пропускании через межтрубное пространство которых воздуха реализуется политропический процесс. В блоке наземных помещений станции метрополитена устанавливается чиллер с воздушным охлаждением. Строительство венткамеры на перегоне не требуется.

В ходе совершенствования объемно-планировочных и конструктивно-компоновочных решений квазизамкнутых систем тоннельной вентиляции предложена полезная модель «Квазизамкнутая система вентиляции тоннелей и станций метрополитена» (патент РФ № 127402) [6]. На рис. 3 показано, что компоновка рециркуляционно-приточных 4 и рециркуляционно-вытяжных 3 венткамер этой системы построена таким образом, что принудительно перехватывается значительная часть циркуляционных потоков воздуха, движущихся в направлении станции, чем снижается их интенсивность и негативное воздействие. Наличие створчатых вентиляционных клапанов 8 позволяет регулировать в широких пределах соотношение приточно-вытяжной и рециркуляционной составляющих системы, обеспечивая необходимые температурно-влажностные параметры воздуха на выходе из камеры термодинамической обработки 9.

Опять же, необходимость строительства венткамеры на перегоне отпадает.

Указанные выше технические решения относятся к метрополитенам с однопутными перегонными тоннелями. Однако в нашей стране постепенно начинается внедрение двухпутных перегонных тоннелей диаметром 10 м.

Первопроходцами этого направления стали метростроители Санкт-Петербурга. И они же предложили ряд очень интересных, перспективных, эффективных технических решений, в основе которых лежит идея строительства перегонных тоннелей без притоннельных сооружений.

При проектировании двухпутного участка Кожуховской линии Московского метрополитена выяснилось, что потребное количество вентиляционного воздуха столь велико,

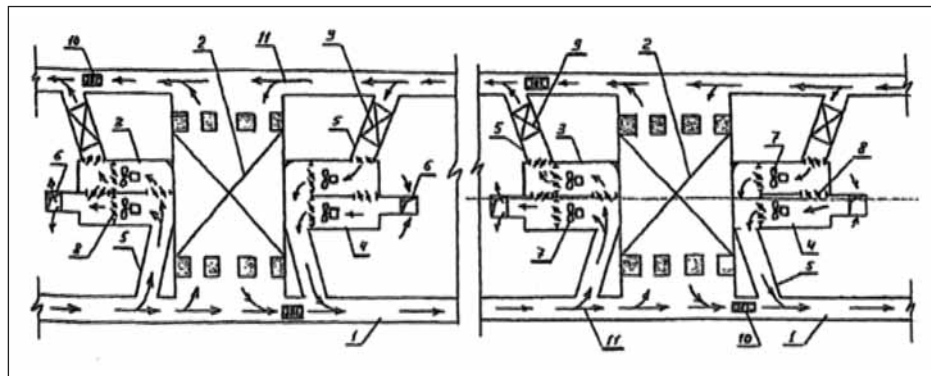


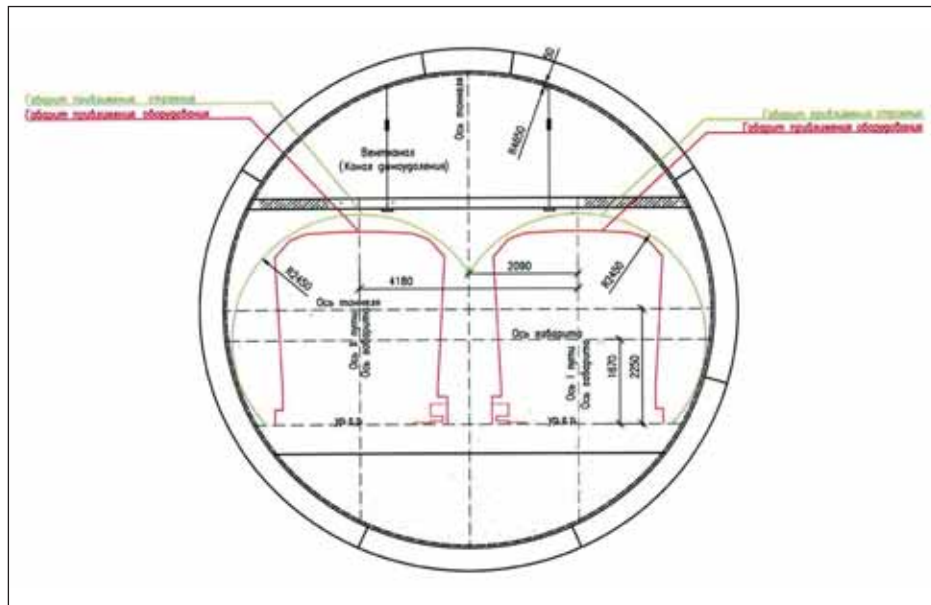
Рис. 3

что на протяженных перегонах потребуется построить даже не одну, а две или три венткамеры. И тут АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» вышло с предложением о подаче в тоннель воздуха с помощью подшивного вентиляционного канала, прокладываемого по длине перегонного тоннеля (рис. 4) [7].

Схема вентиляции принимается однопутной, с подачей воздуха на перегон и удалением его со станций.

Вентиляционный канал оснащается клапанами с шагом 100 м, наличие которых обуславливается, в первую очередь, требованиями противопожарной защиты (локализация зоны задымления и эффективное дымоудаление в случае пожара). В режиме повседневной вентиляции воздух через открытый клапан в торце канала попадает в тоннель и далее движется по тоннелю в сторону вытяжной шахты. Такое решение как бы имитирует наличие приточной шахты на перегоне, вот только строить ее не надо. Кроме того, через приточную шахту воздух поступил бы в тоннель с расчетной температурой теплого периода года 23 °С, а в варианте АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» воздух, протекая в течение 2–3 мин по вентиляционному каналу, дополнительно охлаждается за счет теплообмена с грунтом (расчетная температура грунта 9 °С) и на выпуске в тоннель имеет температуру не 23 °С, а 18–19 °С.

Рис. 4



Необходимый объем вентиляционного воздуха L определяется по формуле [8]:

$$L = \frac{Q_{изб}}{c \cdot j \cdot \Delta t}, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где $Q_{изб}$ – суммарные теплоизбытки в тоннеле;

c – теплоемкость воздуха ($c = 0,24 \text{ ккал/кг} \cdot \text{°C}$);

j – плотность воздуха ($j = 1,2 \text{ кг/м}^3$).

Отсюда видно, что увеличение перепада температур Δt с 5° (в варианте с перегонной венткамерой) до 10 °С (в варианте АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») позволяет значительно уменьшить потребность в вентиляционном воздухе и вписаться в реально осуществимые объемы.

Нам неизвестно, запатентовало ли АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» свое техническое решение, но считаем, что оно, безусловно, обладает новизной, отвечающей статусу изобретения, и готовы в любой инстанции подтвердить их приоритет.

Эффект дополнительного охлаждения может быть ощутимым только при протяженных перегонах. Но при перегонах нормальной протяженности (1,0–1,5 км) такое охлаждение и не требуется, так как расчетная потребность в воздухе становится соизмеримой с практическими возможностями вентиляционных камер.

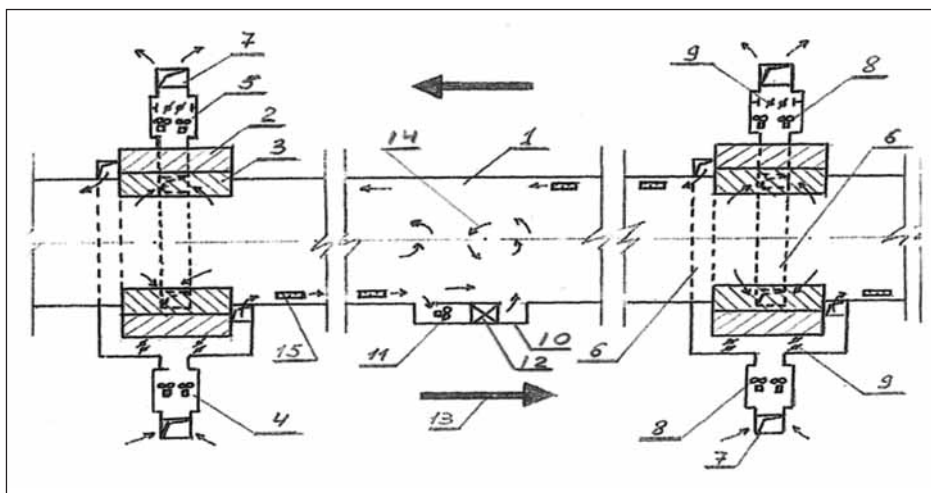


Рис. 5

Учитывая большую важность решения проблемы ассимиляции тепловых избытков, Тоннельная ассоциация России совместно с АО «Метрогипротранс» разработали «Квазизамкнутую систему вентиляции метрополитена с двухпутными перегонными тоннелями» (патент РФ № 136856) [9], рис. 5.

Здесь учитывается то обстоятельство, что в двухпутных перегонных тоннелях, при движении поездов навстречу друг другу 13, происходит активное перемешивание воздуха, возникают вихри 14 и образуется практически однородная воздушная среда, как по теплу, так и по газовому составу. В такой ситуации достаточно подавать в тоннель расчетное количество холода, где он распространится по всему объему. Для этого сооружается притоннельное сооружение 10 (без вскрытия земной поверхности), где с помощью вентилятора 11 принудительно организуется рециркуляционный цикл воздуха, а в камере термодинамической обработки 12 происходит его охлаждение. Для обеспечения санитарных норм приток/вытяжка атмосферного воздуха в расчетном количестве осуществляется с помощью станционных венткамер 4, 5, а для того чтобы, несмотря на имеющую место турбулентность, обеспечить достижение струями атмосферного воздуха до удаленных от станций участков тоннеля, используются струйные вентиляторы 15.

Данная схема несколько затруднена в применении тем, что требуется проходка ходка и бурение скважины (в удобном месте) для того чтобы обеспечить связь по холодоносителю камеры термодинамической обработки с чиллером, размещаемым на поверхности.

Все перечисленные разработки относятся к системам вентиляции. Но на перегонах также сооружаются водоотливные установки и это тоже, в ряде случаев, требует организации работ на поверхности.

В этой связи представляет интерес техническое решение АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» по устройству основной водоотливной установки (ОВУ) в строительном объеме двухпутного перегонного тоннеля, в его подпутной части. Помещение под ОВУ

не выделяется, электросиловое и грузоподъемное оборудование размещаются в транспортной зоне тоннеля в пределах габарита размещения оборудования. При этом в тоннелях, сооружаемых закрытым способом, при условии применения высокоточной водоотливной обделки, транзитные водоотливные установки возможно вовсе не строить, независимо от протяженности водосборного участка.

Важность такого решения трудно переоценить, так как оно, совместно с решением АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» по системе тоннельной вентиляции, позволяет строить двухпутные перегонные тоннели метрополитена без притоннельных сооружений, а это – выдающееся достижение в теории и практике метростроения.

По этой проблеме АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» оформило соответствующие специальные технические условия (СТУ) [10], однако актуальность вопроса выходит за рамки участка от ст. «Приморская» до ст. «Зоопарк» Невско-Василеостровской линии Санкт-Петербургского метрополитена, для которого оформлено данное СТУ. Представляется необходимым отразить этот вопрос в Своде правил [11] (при его очередной актуализации) и далее широко применять на практике.

Как следует из вышеизложенного, в нашей стране уже создан целый ряд технических решений, позволяющих отказаться от строительных площадок на перегонах при строительстве линий метрополитена, что обеспечивает значительную экономию денежных средств, ускорение сроков строительства при одновременном повышении эффективности, технологичности, надежности технических систем.

К сожалению, практическое внедрение этих решений тормозится отдельными консервативно настроенными должностными лицами и специалистами.

Несмотря на это, не вызывает сомнения, что указанные инновационные направления будут продолжаться развиваться, так как технический прогресс остановить невозможно, это противоречит законам природы. Но бу-

дет очень обидно, если эти технические решения мы будем заимствовать из-за рубежа, да еще через много лет, в то время как у нас они есть, причем уже сегодня.

Ключевые слова

Вентиляционные камеры, стройплощадка, перегонный тоннель.

Ventilation Chamber, construction site, subway tunnel.

Список литературы

1. Величкин Е. А., Ленец П. Т. *Строительство тоннелей и метрополитенов.* - М., Транспорт. - 1971. - 390 с.
2. Федунец Б. И., Мазеин С. В., Потапов М. А., Бойко Ф. А. *Пути снижения сроков строительства Московского метрополитена тоннелепроходческими комплексами // Транспортное строительство.* - 2015. - № 3. - С. 2-5.
3. Елгаев С. Г., Мутушев М. А. *Инновационные направления в создании систем вентиляции метрополитена // Метро и тоннели.* - 2014. - № 1. - С. 18-19.
4. Абрамсон В. М., Земельман А. М., Королев Е. Г., Елгаев С. Г. *Патент РФ № 126368 «Система вентиляции перегонных тоннелей между станциями метрополитена», приоритет 30.11.2012 г.*
5. Елгаев С. Г., Еришов А. В., Земельман А. М., Королев Е. Г., Мутушев М. А. *Патент РФ № 2462595 «Способ вентиляции метрополитена», приоритет 01.11.2011 г.*
6. Абрамсон В. М., Земельман А. М., Королев Е. Г., Мутушев М. А., Елгаев С. Г. *Патент РФ № 127402 «Квазизамкнутая система вентиляции тоннелей и станций метрополитена», приоритет 27.12.2012 г.*
7. *Московский метрополитен. Кожуховская линия /АО «НИПИИ «Ленметрогипротранс».* - СПб., - 2015. - 28 с.
8. Поляков А. Х. *Проектирование вентиляции тоннелей.* - М., Издательство литературы по строительству. - 1971. - 145 с.
9. Абрамсон В. М., Елгаев С. Г., Земельман А. М., Королев Е. Г., Мутушев М. А. *Патент РФ № 136856 «Квазизамкнутая система вентиляции метрополитена с двухпутными перегонными тоннелями», приоритет 09.10.2013 г.*
10. *СТУ «Проектирование и строительство Невско-Василеостровской линии метрополитена от станции «Приморская» до станции «Зоопарк» в г. Санкт-Петербурге» /Ленпроектвизир-разработчик СТУ НИПИИ «Ленметрогипротранс».* - 2015.
11. *Свод правил СП120.13330.2012 «Метрополитены». Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003.* - М. - 2012.

Для связи с авторами

Елгаев Сергей Григорьевич
info@rus-tar.ru
Мазеин Сергей Валерьевич
mazin@rus-tar.ru
Мутушев Михаил Адольфович
info@rus-tar.ru

ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ВОЗВОДИМЫХ ПО ТЕХНОЛОГИИ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

WATERPROOFING SYSTEMS FOR UNDERGROUND STRUCTURES OF THE TRANSPORT DESTINATION BUILT ON THE «SLURRY WALL» TECHNOLOGY

Т. Е. Кобидзе, к. т. н., АО «Мосинжпроект»

Д. А. Колобаев, АО «Мосинжпроект»

Г. В. Потапов, к. т. н., Дирекция строящегося метрополитена г. Москвы

T. E. Kobidze, LLC «Mosinzhproekt»

D. A. Kolobaev, LLC «Mosinzhproekt»

G. V. Potapov, Directorate for construction of the metro in Moscow

В статье обобщены результаты научно-практических работ, выполненных АО «Мосинжпроект» в сотрудничестве со специалистами Дирекции строящегося метрополитена г. Москвы, а также ряда фирм – разработчиков современных гидроизоляционных материалов.

This paper summarizes the results of scientific and practical works implemented by LLC «Mosinzhproekt» and in cooperation with experts of Directorate for construction of metro in Moscow, as well as a number of companies – developers of modern waterproofing material.

Целью работ явилось создание надежных и ремонтнопригодных гидроизоляционных систем для подземных сооружений транспортного назначения (железнодорожные и автодорожные тоннели, метрополитен, автомобильные паркинги и т. п.), возводимых по технологии «стена в грунте», где ограждение котлована используется в качестве несущей стеновой конструкции или несъемной опалубки, а его внутренняя, доступная поверхность – в качестве основания для выполнения работ по устройству гидроизоляционного покрытия.

Несмотря на технико-экономическую привлекательность и перспективность применения этих способов возведения подземных сооружений, их внедрение в строительной практике сдерживается во многом из-за отсутствия технически обоснованных решений по устройству в сложных строительных и эксплуатационных условиях надежных и ремонтнопригодных гидроизоляционных систем. Действующая нормативная база [1–4], регламентирующая применение современных гидроизоляционных материалов в области строительства подземных сооружений транспортного назначения, не дает ответа на решение данной проблемы.

В статье приводятся экспериментально подтвержденные технические решения по устройству гидроизоляционных систем, отвечающих в заданных эксплуатационных условиях требованиям надежности, долговечности и ремонтнопригодности.

Подземные сооружения, возводимые с использованием конструкции «стена в грунте» в качестве несущей

Согласно нормативным требованиям, гидроизоляцию, устраиваемую с внутренней стороны конструкции несущей «стены в грунте», по причине недоступности ее наружной поверхности следует за-

щищать железобетонной «рубашкой» (прижимной стеной), рассчитанной на восприятие ожидаемого отрицательного гидростатического давления. При этом необходимо обеспечивать плотное прижатие внутренней железобетонной конструкции к гидроизоляции ([1] п. 5.6.3.24).

Надежность и ремонтнопригодность гидроизоляционного покрытия, уложенного на «стене в грунте», достижима только в одном случае – если обеспечено сплошное адгезионное сцепление гидроизоляционного покрытия к бетону стеновой конструкции, возводимой в качестве прижимной стены или стены подземного сооружения, конструктивно связанного с несущей «стеной в грунте», исключая их взаимное смещение. При этом величина адгезии, согласно табл. 5.8 [1], должна составлять не менее 0,5 МПа.

Сплошное адгезионное сцепление гидроизоляционного покрытия к бетону возводимой стены приведет к изменению условий работы гидроизоляционного покрытия, так как в этом случае гидростатическое давление из отрицательного, при котором материал работает на отрыв, переходит в режим положительного гидростатического давления (на прижим), что создает условия для надежной и долговечной эксплуатации гидроизоляционных покрытий. При этом в случае повреждения гидроизоляционного покрытия в виде прокола, наличие сплошного адгезионного сцепления к бетону возведенной стены делает невозможным бесконтрольную миграцию воды по недоступной наружной поверхности изолированной конструкции. Вследствие этого, просочившаяся вода путем фильтрации через слой бетона или полость дефекта (например, трещины) будет проявляться на противоположной стороне стеновой конструкции. Это упрощает определение местоположения поврежденного участка гидроизоляцион-

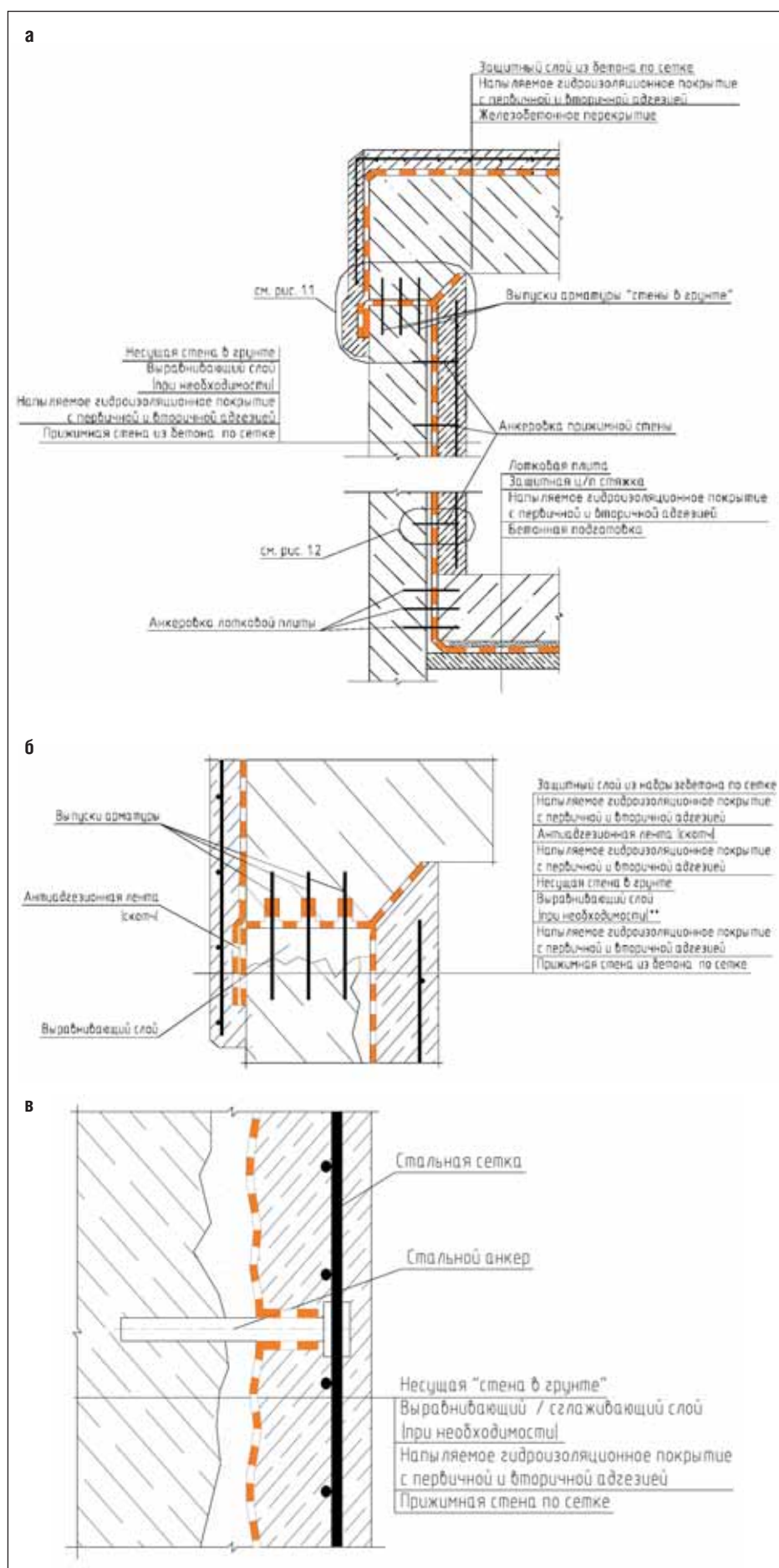


Рис. 1. Устройство напыляемой гидроизоляции тоннельного сооружения при открытом способе работ с несущей «стеной в грунте»: а – общий вид; б – узел сопряжения «стены в грунте» с перекрытием; в – узел примыкания прижимной стены к «стене в грунте»

ного покрытия и способа по восстановлению водонепроницаемости конструкции с минимальными материально-техническими затратами.

Получить данный эффект при использовании традиционных битумных, битумно-полимерных материалов, ПВХ и ТПО мембран и ряда полимерных напыляемых составов невозможно, ввиду неспособности этих материалов обеспечить необходимое адгезионное сцепление к бетону возведенной прижимной стены.

Анализ характеристик и опыта применения различных материалов для гидроизоляции подземных сооружений показывает, что на отечественном рынке строительных услуг имеется ряд напыляемых гидроизоляционных составов с адгезией более 0,5 МПа, как к бетонному основанию, так и к бетону, уложенному на гидроизоляционное покрытие.

Наличие «вторичной» адгезии у данных материалов к уложенному на них бетону подтверждается результатами лабораторных испытаний опытных образцов и кернов, отобранных с эксплуатируемых тоннельных сооружений.

Применение гидроизоляционных материалов с наличием как «первичной», так и «вторичной» адгезии позволяет предложить для подземных сооружений с несущей «стеной в грунте» устройство на основе напыляемой технологии достаточно простой конструкции бесшовной, надежной и ремонтпригодной гидроизоляции (рис. 1а).

Эффективность применения напыляемых составов для гидроизоляции несущей «стены в грунте» обеспечивается также повышенной адгезией этих материалов к металлическому основанию, превосходящая адгезию к бетону. Это позволяет методом напыления нанести сплошное и бесшовное гидроизоляционное покрытие на бетонную поверхность несущей «стены в грунте», в том числе в местах выпусков арматурных стержней и металлических анкеров, предназначенных для бетонирования плит горизонтальных несущих конструкций и прижимной стены (рис. 1б и 1в).

Подземные сооружения, возводимые с использованием конструкции «стена в грунте» в качестве несъемной опалубки

Отличительной особенностью сооружений, возводимых данным способом, является то, что ограждение «стены в грунте» и примыкающая к ней несущая стена строящегося подземного сооружения не имеют конструктивной связи. Это обуславливает их подверженность к взаимному смещению (сдвигу) при неравномерной осадке подземного сооружения и создает угрозу целостности гидроизоляционного покрытия, устроенного в данной плоскости сдвига для защиты несущей стены подземного сооружения.

Обеспечение эксплуатационной надежности гидроизоляции сооружений со стеновой

конструкцией данного типа возможно только при устройстве в плоскости сдвига ремонтнопригодного гидроизоляционного покрытия несущей стены, способного к свободному перемещению (скольжению) относительно «стены в грунте».

Конструктивно такое техническое решение реализуется применением напыляемых составов с наличием «вторичной» адгезии и современных геокомпозитных материалов, состоящих из слоя полимерного нетканого геотекстиля толщиной 5 мм и герметично приклеенного к ней поверхностного покрытия из полиэтиленовой (ПЭ) пленки (рис. 2).

Технический результат достигается:

- устройством на «стене в грунте», способом «свободной» укладки, защитного полотна, состоящего из двух слоев геокомпозитного материала, обращенных покрытиями из ПЭ пленок к «стене в грунте». Наличие ПЭ пленки между двумя геокомпозитными слоями защитного полотна придает им способность к свободному взаимному смещению (скольжению), находясь в зажатом состоянии в плоскости сдвига;

- использованием геокомпозитного слоя защитного полотна, обращенного поверхностью геотекстиля к возводимой несущей стене, в качестве пропитываемого основания для нанесения напыляемых полимерных гидроизоляционных составов с наличием «вторичной» адгезии.

Данный технологический прием обеспечивает создание прочного и ремонтнопригодного бесшовного гидроизоляционного покрытия на несущей стене за счет армирования геотекстилем напыляемого полимерного гидроизоляционного покрытия и способности этого покрытия обеспечить сплошное адгезионное сцепление к бетону возведенной стены.

Ключевые слова

Гидроизоляционные системы, «стена в грунте».

Waterproofing systems, «slurry wall».

Список литературы

1. СП 120.13330-2012 «Метрополитены».
2. СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные».
3. СТО НОСТРОЙ 2.27.123-2013 «Гидроизоляция транспортных тоннелей и метрополитенов, сооружаемых открытым способом».
4. ВСН 104-93 «Нормы по проектированию и устройству гидроизоляции тоннелей метрополитенов, сооружаемых открытым способом»



Для связи с авторами

Кобидзе Тенгиз Евгеньевич
kobidzete@mosinzhproekt.ru
Колобаев Дмитрий Анатольевич
kolobaevda@mosinzhproekt.ru
Потапов Глеб Владимирович
potapov-gv@mosmetro

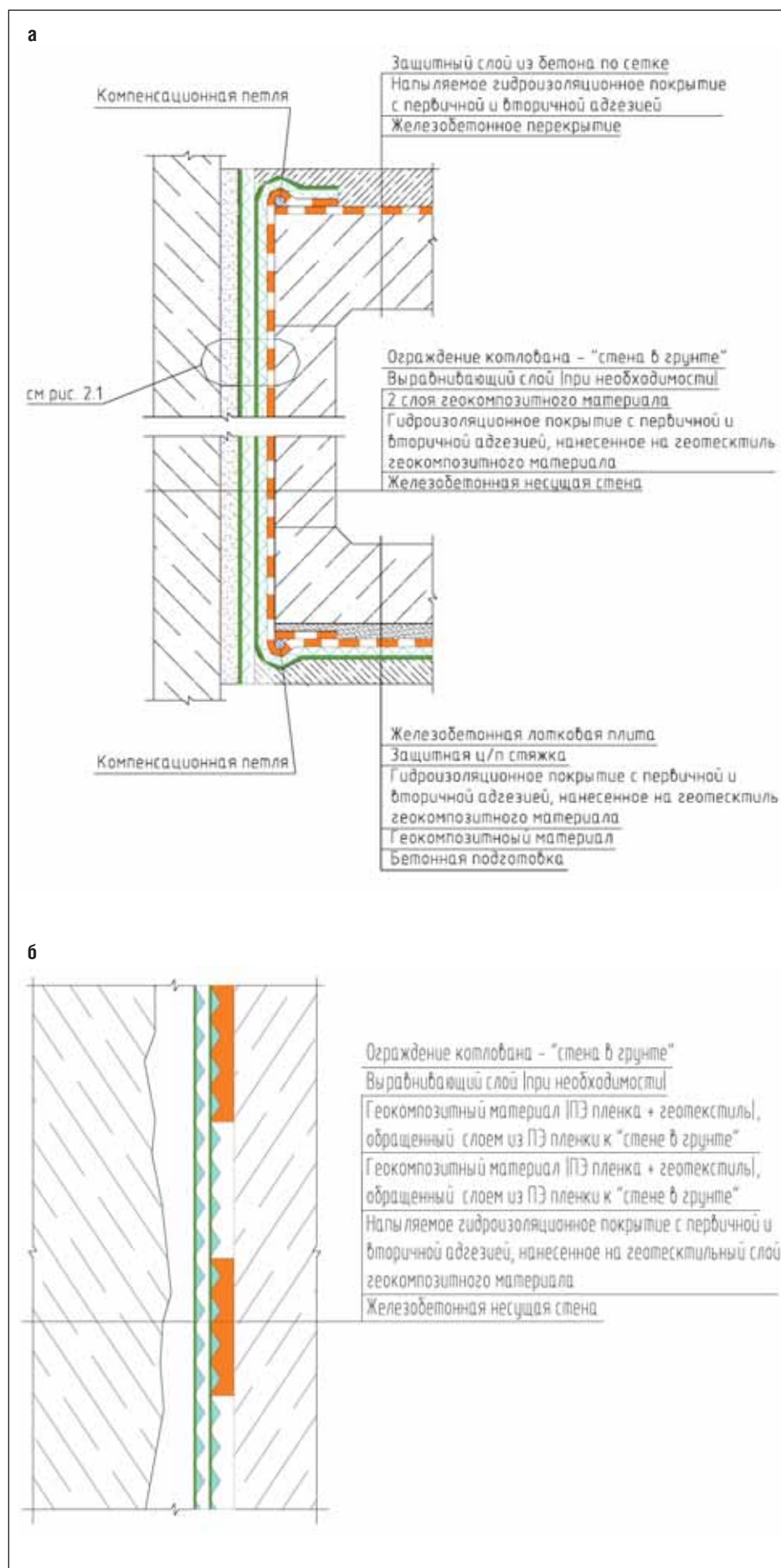


Рис. 2. Устройство комбинированной гидроизоляции тоннельного сооружения при открытом способе работ с использованием «стены в грунте» в качестве несъемной опалубки: а – общий вид; б – узел при-
мыкания несущей стены к конструкции ограждения котлована

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАБРЫЗГ-БЕТОНА В МЕТРОСТРОЕНИИ

(ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ В МОСКВЕ)

ON EFFICIENCY OF SPRAYED CONCRETE APPLICATION IN METRO CONSTRUCTION (FOLLOWING TRIALS IN MOSCOW)

М. С. Панкратов, заместитель директора ООО «Синапс» по проектированию
(ранее зам. директора ООО «СМУ-19 Мосметростроя»)

А. А. Алексанян, начальник проектного отдела ООО «Синапс»
(ранее начальник проектного отдела ООО «СМУ-19 Мосметростроя»)

M. S. Pankratov, Deputy director «Sinaps» on design (formerly deputy director SMU-19 Mosmetrostroya)

A. A. Aleksanian, head of design department «Sinaps» (formerly head of design department SMU-19 Mosmetrostroya)

В статье рассматривается опыт применения технологии набрызг-бетона при строительстве метрополитена в Москве. Приводится анализ основных рисков, связанных с технологией, и методы их снижения. Предлагается техническое решение для строительства притоннельных сооружений метрополитена мелкого и глубокого заложения. Приводится технический и экономический анализ решения в сравнении с общепринятой практикой.

In an article is given an observation of experience accumulated during application of sprayed concrete for metro construction in Moscow. Given analyses of main risks related to technology and methods of its mitigation. Proposed technical solution for auxiliary facilities of both deep and shallow metro lines. Provided technical and economical analyses and comparison with common solutions.

Технология крепления подземных выработок с использованием набрызг-бетона (НБ) не является новой, в том числе и для России.

В 1975 г. на Кировско-Выборгской линии Ленинградского метрополитена была сооружена опытная выработка диаметром 3,6 м и длиной 8,3 м, а в 1978 г. – вторая опытно-промышленная выработка (вентсбойка) диаметром 4,3 м и длиной 11 м [1, 2]. Обе выработки возведены в нескальных грунтах (протерозойских глинах). В 1979 г. аналогичные

испытания провели в Киеве [3]. Был сооружен опытный участок ходка круглого очертания диаметром 3,5 м и длиной 7,5 м. Проходка также выполнялась в нескальных грунтах (спондиловых глинах Киевского яруса). В 1990-х гг. в Москве с применением технологии НБ успешно построены два перегонных тоннеля между станциями «Киевская» и «Парк Победы». Участок был благополучно принят метрополитеном и в настоящий момент успешно эксплуатируется.

Помимо этого, за последние 25 лет есть и другие успешные примеры применения технологии НБ на территории России и бывшего СССР. Среди них:

- основные выработки ускорительно-накопительного комплекса РАН в Протвино;
- более 1 км Меградзорского тоннеля на железнодорожной линии Иджеван – Раздан в Армении (этот участок не претерпел никаких нарушений после 11-балльного землетрясения в 1989 г.);
- две одноводчатые станции в Екатеринбурге;
- две пилонные станции в Алматы (сейсмичность района 9 баллов);
- железнодорожные и автодорожные тоннели в Сочинском регионе (сейсмичность района 9 баллов).

В конце 2013 г. по решению НТС на Люблинско-Дмитровской линии построен еще один опытный участок перегонного тоннеля длиной 55 м (рис. 1), проходка которого была успешно выполнена силами СМУ-19 Мосметростроя [4]. В качестве обделки тоннеля применен набрызг-бетон, армированный синтетической фиброй (ФНБ). Классическая стальная арматура не использовалась.

После окончания проходческих работ в период с февраля 2014 г. по февраль 2015 г. (в течение одного года) выполнялись:

Рис. 1. Опытный участок перегонного тоннеля



фото А. Куликов

Таблица 1

Определяемая характеристика	Метод определения	Показатели
Плотность, кг/м ³ (в естественном состоянии)	ГОСТ 12730.1	От 2170 до 2260, среднее по всем кернам 2200
Плотность, кг/м ³ (в высушенном состоянии)	ГОСТ 12730.1	От 2040 до 2080, среднее по испытываемым кернам 2050
Показатели пористости	ГОСТ 12730.4	–
Водопоглощение, % (по массе) (по объему)	ГОСТ 12730.3	8,8 18,1
Водопоглощение при капиллярном подсосе, % (по массе)	ГОСТ 31356	1,83 3,1
Предел прочности при сжатии, МПа	ГОСТ 10180	36,2
Предел прочности на растяжение при раскалывании, МПа	ГОСТ 10180	3,95
Водонепроницаемость	ГОСТ 12730.5	W8
Морозостойкость	ГОСТ 10060-2012 (по Приложению А)	F500
Модуль упругости, МПа	ГОСТ 24452	14358
Определение долговечности по критерию «Термоморозостойкость»	Методика ОАО «Мосинжпроект»	415 циклов

• маркшейдерские наблюдения за деформациями тоннеля;

• регулярный отбор и испытания кернов (совместно с НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект»).

Маркшейдерские наблюдения не выявили существенных деформаций крепи. Полученные значения не превышают 5 мм и, судя по характеру колебаний, находятся в пределах погрешности измерений.

Результаты испытаний отобранных кернов (табл. 1), выполненные НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект», позволяют сделать следующие выводы:

• проектные прочностные характеристики набрызг-бетона полностью обеспечены;

• потеря прочности во времени не наблюдается;

Опытный участок был осмотрен комиссией в составе представителей ГУП «Московский метрополитен», Дирекции строящегося метрополитена, АО «Мосинжпроект», НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект», ОАО «Мосметрострой», СМУ-19 Мосметрострой. По результатам работы комиссии составлен соответствующий акт, в котором зафиксировано:

• соответствие выполненной отделки требованиям к соответствующим конструкциям тоннельных сооружений метрополитена;

• высокое качество выполненных работ;

• высокая механизация технологии;

• уменьшение сметной стоимости строительной конструкции на 18 % по сравнению с исходным вариантом (сборной чугунной обделкой);

• рекомендовано дальнейшее применение обделок из ФНБ при строительстве метрополитена в соответствующих инженерно-геологических условиях.

ГУП «Московский метрополитен» в полном объеме согласовал проект, разработанный НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект», предус-

матривающий использование на опытном участке выполненной крепи из ФНБ в качестве первичной отделки с нанесением на нее напыляемой гидроизоляции и устройством вторичной отделки из монолитного фибробетона (ФБ), рис. 2.

К сожалению, в полной мере проект так и не был реализован.

В настоящий момент в России существует обширная нормативная база, которая может быть использована при проектировании, строительстве и приемке в качестве постоянного крепления подземных выработок транспортного назначения конструкций из НБ, ФНБ и ФБ:

• СП 120.13330.2012 «Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003»

(п.п. 5.6.1.3; 5.6.3.3; 5.6.3.4; 5.6.3.9; 5.20.44; 6.6.3.12);

• СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97» (п.п. 5.4.1.8; 5.4.3.3; 5.4.5.2; 5.4.6.12; 5.7.2.1; 5.7.3.4; 5.7.3.6; 5.7.6.6);

• СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;

• СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия»;

• СП 52-104-2006 «Сталефибробетонные конструкции»;

• ВСН 126-90 «Крепление выработок набрызг-бетоном и анкерами при строительстве транспортных тоннелей и метрополитенов. Нормы проектирования и производства работ»;

Рис. 2. Конструкция обделки (НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект»)

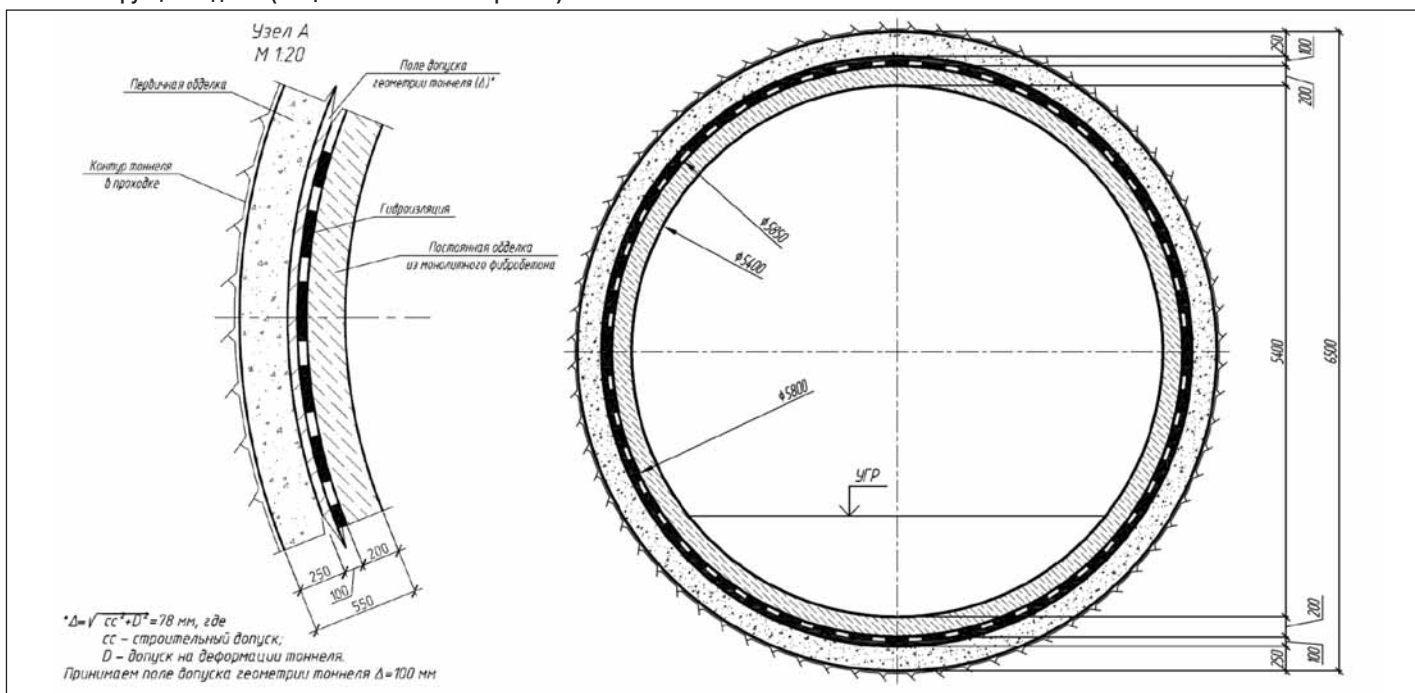


Таблица 2

Риск	Меры по снижению риска	Достигнутый результат
Низкая адгезия бетона к грунту (карбонатные глины), высокий отскок	- Тщательный подбор смеси и лабораторные испытания - На базе СМУ-19 выполнен испытательный стенд для натурных испытаний различных рецептур - Перед работой по грунту выполнено опытное нанесение набрызга в закреплённой штольне	Отскок не превышал 5–10 %
Нанесение набрызг-бетона будет невозможно из-за поступления грунтовых вод	- Разработан план противофильтрационных мероприятий - На участке было все необходимое для опережающего дренажа и инъекций	На участке «Фонвизинская» – «Бутырская» грунтовые воды не представляли никаких проблем. Применимость набрызга в условиях грунтовых вод была доказана позже на стволе 960 (станция «Верхние Лихоборы»)
Невозможность обеспечения приемлемого качества производства работ в России	- Тщательный подход к подбору персонала - Внимание к обучению и мотивации	Операторы легко освоили технологию. Кривая обучения оказалась гораздо короче, чем при работе на укладчике
Невозможность производства качественного бетона в условиях России	- На завод завезен запас качественного щебня специально для набрызга - Выделен отдельный силос, заряженный качественным цементом - При каждом замесе присутствовал представитель участка	Производство набрызг-бетона не вызвало существенных затруднений на бетонном заводе Метростроя
Бетон потеряет свои качества из-за непредсказуемых задержек при транспортировке	В составе рецептуры применялись добавки для остановки гидратации	Бетон не терял подвижности даже через 12 ч после замеса
Бетон потеряет свои качества при транспортировке из-за переохлаждения	- На строительной площадке устроено тепловое укрытие для АБС с бетоном - Температура бетона постоянно контролировалась	Не смотря на то, что в ходе работ температура на поверхности опускалась до –21 °С, проблем с качеством бетона не было

• СТО НОСТРОЙ 2.27.128-2013 «Строительство подземных сооружений горным способом с применением обделок из набрызг-бетона»;

• СТО НОСТРОЙ 2.27.125-2014 «Конструкции транспортных тоннелей из фибробетона»;

• СТО ТАР 93.060-001-2012 «Водонепроницаемые обделки подземных сооружений из набрызг-бетона с напыляемой гидроизоляцией на полимерной основе серии MAS-TERSEAL. Правила проектирования и производства работ».

При этом нет ни одного документа, который запрещал бы применение набрызг-бетонных обделок в метростроении, в том числе в качестве постоянной конструкции.

В табл. 2 представлены основные риски, которые были идентифицированы на ста-

дии подготовки к проекту, меры, принятые для их уменьшения, и фактически полученные результаты.

В середине 2014 г. технология крепления НБ была еще раз опробована также в условиях максимальных осложнений, связанных с поступлением подземных вод. На подходной выработке станции «Верхние Лихоборы» (ствол 960), рис. 3, в условиях устойчивого водопитока было успешно выполнено несколько десятков метров набрызг-бетонной обделки (набрызг-бетон сочетался со стальными двутавровыми арками и арматурными сетками).

Устройство набрызг-бетонной крепи не вызвало существенных осложнений. Лишь в нескольких местах для ликвидации сосредоточенных течей потребовалось при-

менение вспомогательного дренажа на глубину до 1,0–1,5 м.

В 2015 г. для условий технологической сбойки ПК 197+65 продления Сокольнической ветки (участок «Тропарево» – «Саларьево») нами было рассмотрено четыре технологии строительства притоннельных сооружений:

- открытый способ (рис. 4а);
- временная арочная крепь с деревянной затяжкой с последующей металлоизоляцией (рис. 4б);
- применение сборной чугунной обделки (рис. 4в);
- применение первичной набрызг-бетонной и вторичной монолитной обделки (предлагаемая авторами, рис. 4г).

Сбойка была реализована на практике с использованием второго варианта конструкции. Глубина заложения сбойки до головки рельса составляет 19 м.

Сравнение смет показало существенное (не менее чем в 3 раза) экономическое преимущество любого из трех закрытых способов (рис. 5) по сравнению с открытым.

Выполнение заглубленного массива из джет-граута, полностью обьемлющего подземное сооружение, оказалось гораздо дешевле, чем выполнение ограждающей конструкции котлована до проектной глубины.

Исходя из этого можно заключить, что открытый способ при строительстве притоннельных сооружений целесообразен только до глубин 5–7 м. При этом в расчет не включались затраты, связанные с выносом сестей, переустройством дорог, освобождением поверхности, которые в случае открытого способа могут оказать-

Рис. 3. Подходная выработка станции «Верхние Лихоборы»



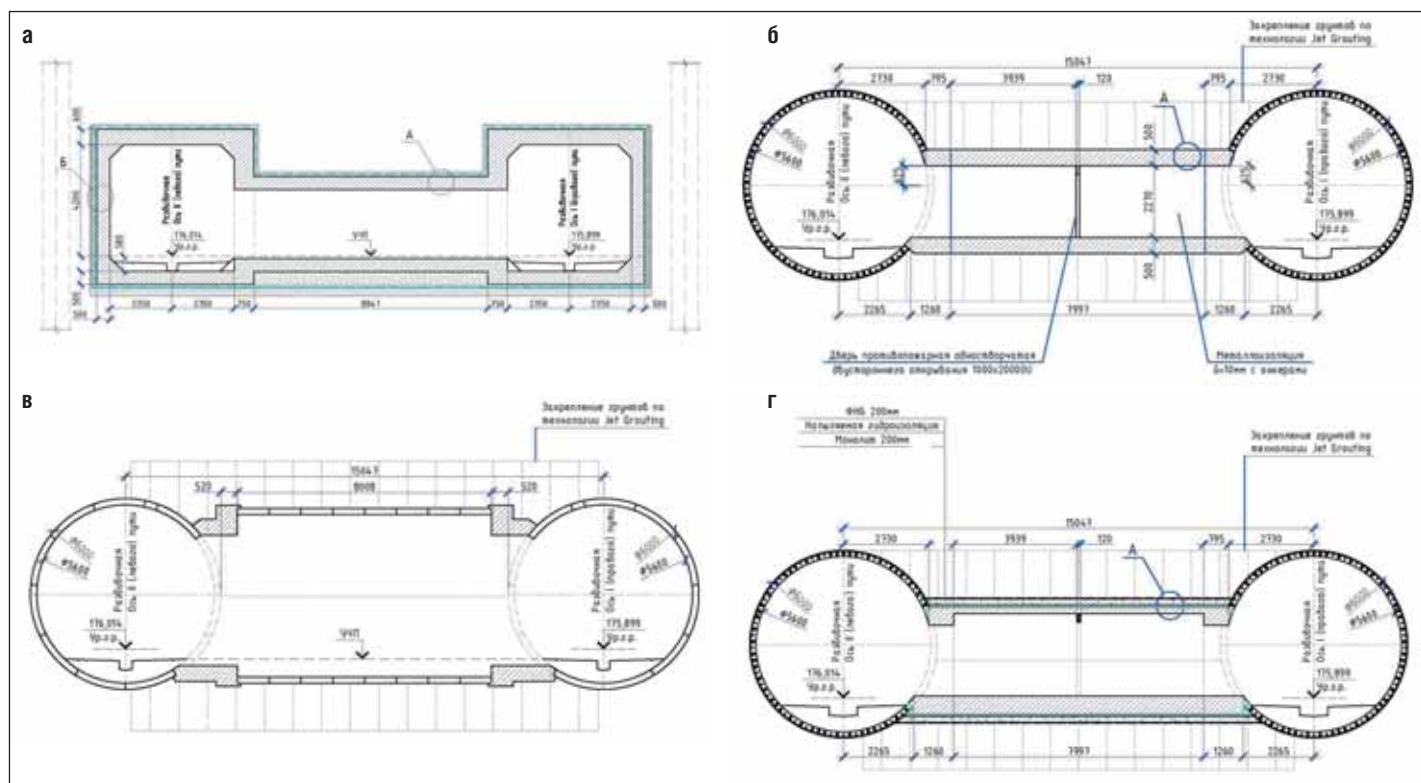


Рис. 4. Конструкция сбойки: а – открытым способом; б – с временной арочной крепью и металлоизоляцией; в – со сборной чугунной обделкой; г – с набрызг-бетоном

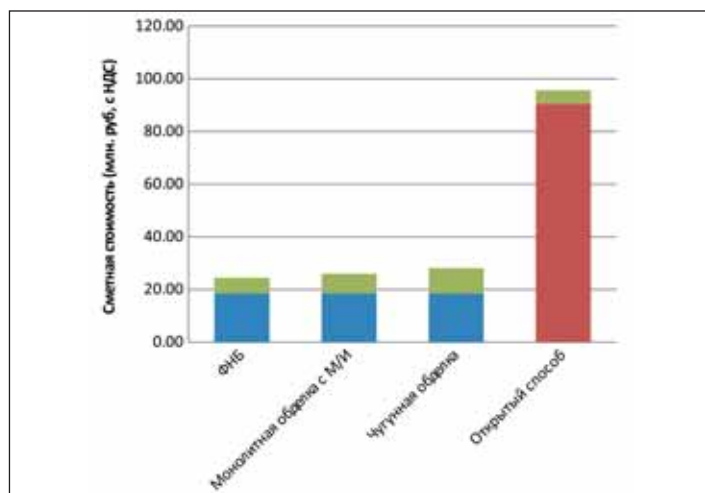


Рис. 5. Сравнение сметной стоимости строительства сбойки различными методами

ся даже выше, чем стоимость основного строительства.

При сравнении возможных вариантов сооружения сбойки не учитывались работы, связанные с закреплением грунтов, так как во всех трех случаях они являются полностью идентичными.

Сравнение стоимости строительной конструкции (рис. 6) показывает, что наиболее дорогим является вариант со сборной чугунной обделкой. Более дешевым является вариант с арочной временной крепью и металлоизоляцией (реализованный на практике).

Однако применение технологии набрызг-бетона позволяет дополнительно сократить сметную стоимость еще на 20,5 %. Это достигается за счет более высокой механизации процесса устройства обделки,

снижения трудозатрат, уменьшения металлоемкости конструкции.

Таким образом, результаты выполненных работ на опытных участках и анализ состояния вопроса свидетельствуют о высокой эффективности технологии строительства подземных сооружений транспортного назначения, включая метрополитен, с обделками из НБ и ФНБ и позволяют рекомендовать ее широкое применение в метростроении как на глубоком, так и на мелком заложении.

Ключевые слова

Набрызг-бетон, горный способ, фибробетон, притоннельные сооружения, напыляемая гидроизоляция.

Sprayed concrete, SCL, shotcrete, conventional tunneling, fiber reinforced concrete, spray applied membrane.

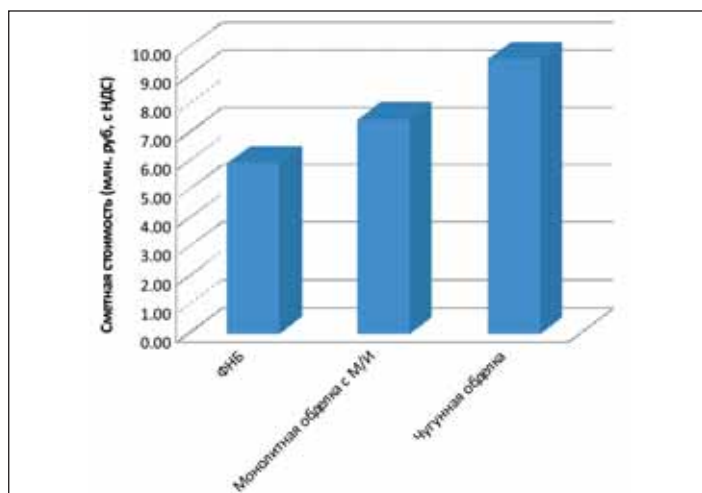


Рис. 6. Сравнение сметной стоимости строительных конструкций сбоек закрытого способа

Список литературы

1. Крепление выработок набрызг-бетоном. Д. Голицынский, Г. Федоров, «Метрострой» № 2, 1976.
2. Набрызг-бетонные конструкции на Ленметрострое. Д. Голицынский, «Метрострой» № 1, 1983.
3. Крепление горных выработок в спондиловых глинах. Д. Голицынский, Г. Калинин, В. Санкович, В. Лайкин, «Метрострой» № 3, 1979.
4. Применение набрызг-бетона при строительстве подземных объектов глубокого заложения в Москве. М. Панкратов, И. Бородин, «Метро и тоннели» № 5, 2014.

Для связи с авторами

Панкратов Михаил Сергеевич
pankratov@sinaps.ru
Алексанян Арутюн Акопович
aleksanyan@sinaps.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АНКЕРНОЙ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

APPLICATION OF STEEL FIBERS REINFORCED IN TRANSPORT TUNNELS CONSTRUCTION

М. Е. Володин, руководитель направления «Подземное строительство», ООО «Габионы Маккаферри СНГ», Москва
M. E. Volodin, Head of Underground Construction Department, Maccaferri Gabions CIS, Ltd, Moscow

Данная статья посвящена использованию сталефибробетона в обделках подземных сооружений (набрызг-бетонной, монолитной и сборной) в сравнении с традиционной системой армирования. Ввиду недостаточного количества нормативной документации, проектировщикам приходится самим адаптировать правила расчета сталефибробетона, основываясь на расчетах стандартной арматуры. Однако поведение сталефибробетона существенно отличается по сравнению с традиционной системой армирования и требует других методик расчета, учитывающих поведение материала после образования первых микротрещин.

This article focuses on the application of SFRC in tunnel lining (cast-in-situ, SC, precast elements) comparing as an alternative to conventional RC lining system. Due to the current lack of design rules for Steel Fibers Reinforced Concrete (SFRC) structures, engineers have usually designed SFRC tunnel lining segments by adopting the same rules that are valid for concrete with conventional reinforcement. However, the post-cracking behavior of SFRC structure is totally different from conventional RC structures.

Введение

Использование сталефибробетона в последнее время получило большое распространение для улучшения характеристик бетона на растяжение и увеличения его долговечности.

После первичного трещинообразования сталефибробетон ведет себя нелинейно, показывая пластическую деформацию, характеристики которой зависят от количества и типа введенных фиброволокон в бетон. В отличие от сталефибробетона, стальная арматура показывает линейную зависимость, вплоть до момента разрыва арматуры [1].

Использование стальной фибры улучшает эксплуатационные свойства бетона, такие как ударная вязкость и сопротивление воздействию агрессивных вод. Также использование сталефибробетона в тоннельных конструкциях показывает экономические преимущества по сравнению со стальной арматурой, что находит выражение в сокращении как прямых (снижение металлоемкости конструкции), так и косвенных затрат (трудозатраты на вязку арматуры, пространство под хранение каркасов, риски скалывания краев при установке, транспортировке и т. д.).

В современной европейской практике и в нормах строительства повсеместно используется фибра для строительства объектов транспортной инфраструктуры при бетонировании промышленных полов, плит пролетных конструкций. Фибробетон является разновидностью дисперсно-армированного железобетона и изготавливается из тяжелого или мелкозернистого бетона, в котором в

Временные затраты на создание набрызг-бетонной обделки, ч

Вид работ	Временные затраты	
	Армосетка	Фибра
Бурение	2	2
Зарядка и отпалка/разработка забоя	1,5	1,5
1-й слой набрызга	1	
Очистка забоя	1,5	
Установка сетки 50 м ²	5	
2-й слой набрызга	3	
Набрызг с фиброй		1,5
Очистка забоя		1,5
Общее время	14	6,5

качестве арматуры используются дисперсные стальные фибры, равномерно распределенные по объему бетона. Совместная работа бетона и стальной фибры обеспечивается сцеплением по их поверхности, анкеровкой фибры в бетоне за счет ее периодического профиля, кривизны в продольном и поперечном направлении, а также наличием анкеров на концах фибры. Фибру изготавливают из различных материалов: полипропилена, базальта, стали и т. д. Но наиболее широкое применение получила стальная анкерная фибра. Рассмотрим более подробно использование стальной фибры при строительстве обделок/крепи подземных сооружений. Первый тоннель, построенный с применением фибры, был сооружен для ме-

трополитена в Неаполе в 1992 г. С того момента применение данной технологии возрастает год от года по всему миру [8]. Основными технологиями строительства креплений подземных сооружений с применением стальной фибры являются:

- набрызг-бетонная обделка;
- сборная железобетонная обделка;
- монолитный бетон.

Использование стальной фибры в набрызг-бетоне

Использование стальной фибры в набрызг-бетоне имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием стандартной арматуры. Применение фибры помогает увеличить эксплуатационный ресурс сооруже-

Таблица 1

ния, уменьшить трудозатраты в процессе строительства, снизить общую металлоемкость конструкции, уменьшить вероятность образования трещин и уменьшить ширину их раскрытия, увеличить ударную вязкость бетонной смеси, увеличить степень механизации работ.

В табл. 1 отражены временные затраты на создание набрызг-бетонной отделки с использованием стальной фибры и арматурной сетки.

Для понимания эффективности замены армосетки фиброй рассмотрим упрощенный вариант проектирования отделки из набрызг-бетона по нормам ACI 506.1R-08 (American Concrete Institute) [9].

Для того чтобы оценить работоспособность традиционной отделки, необходимо оценить механические свойства изгибающих напряжений с предложением замены на эквивалентную конструкцию, армированную фиброй.

Узнать максимально допустимое изгибающее напряжение традиционной секции можно по формуле:

$$Mo.Cap_{Cont.} = f \times A_s \times f_y \times (d - a/2),$$

где f – коэффициент понижения прочности равный 0,9 для изгиба;

A_s – площадь традиционной арматуры на единицу ширины;

f_y – предел текучести традиционной арматуры;

d – рычаг от точки нагружения до центра армирования;

$$a = A_s f_y / 0,85 f'_c b.$$

Получив эквивалентный показатель сопротивления на изгиб армированного традиционным способом, можно определить прочность на изгиб конструкции с различными дозировками фибры. Эта величина для прямоугольной секции находится по следующей формуле:

$$Mo.Cap_{FRS} = \int_{600}^{100} b t^2 / 6,$$

где b – ширина секции;

t – толщина секции.

$\int_{600}^{100}$ – остаточная прочность на изгиб секции толщиной 100 мм после раскрытия трещины и отклонения на 0,5 мм.

Типичная остаточная прочность на изгиб ≥ 50 % предела прочности на изгиб.

Пример использования данной методики для сравнения использования фибры и армосетки в конструкции крепи приведен в табл. 2.

Данная методика расчетов применяется в следующих международных стандартах и спецификациях по использованию фибры: Italian code «Guidelines for the design, construction and production control of FRC structures», CNR DT-204/2006, Spanish code (EHE), annex 18, German code, Guideline «Stahlfaserbeton, March 2010», Fib Model Code 2010, JPCE, Guidelines for concrete No. 6 «Standard specifications for concrete structures» ACI committee 544, RILEM TC 162-TDF Recommendations for test and design methods, Eurocode 2 «Design of concrete structures».

Сравнение расчета работы фибры и арматурной сетки в конструкции крепи

Характеристики материала	Традиционное армирование	Стальная фибра Dramix
	Ø5 мм, 100×100	25 кг на м³
f_y – предел текучести традиционного армирования, Н/мм²	450	
$\gamma_{сfb}$ – коэффициент запаса для сталефибробетона		1,5
γ_y – коэффициент запаса для традиционного армирования	1,15	
Диаметр стержней сетки, мм	5	
Расстояние между стержнями, мм	100	
A_s – общая площадь стали, мм²	196,3	
b – ширина секции, мм	1000	1000
t – толщина секции, мм	300	300
c – защитный слой, мм	150	
$d = h \times c$ момент рычага от нагруженной поверхности до центра арматуры	150	
$a = A_s \times f_y / 0,85 \times f'_c b$, мм	5,2	
Φ – коэффициент понижения прочности	0,9	
f'_c – прочность бетона (цилиндр), Н/мм²	20	20
$\int_{600}^{100}$	остаточная прочность на изгиб после трещинообразования 100 мм балки с шагом 0,5 мм по ASTM C1609/C1609M	1300
Тип фибры		LN 50/0,75
Дозировка фибры, кг/м³		25
M – изгибающий момент [9]	$M = \Phi \times A_s \times (d - a/2) / \gamma$	$M = (\int_{600}^{100} \times t^2 / 6) / \gamma_{сfb}$
	10193 кНмм	12997 кНмм
	10,19 кНм	13 кНм

Практическое применение

В практической области применения сталефибробетона для набрызга средняя дозировка стальной фибры варьируется от 15 до 30 кг на м³ бетона (рис. 1) в зависимости от требований проекта, что дает существенный экономический эффект по сравнению с традиционными системами армирования – снижение стоимости на 15 % и увеличение скорости проходки в несколько раз. Состав бетона Б25 для Московского метрополитена приведен в табл. 3.

После выполнения работ по набрызгу фибробетона (рис. 2) производится отбор кернов для сравнения с образцами, которые были взяты в бетонно-растворном узле (бетона без введения в него ускорителя схватывания) для проверки соответствия проектным значениям прочности. Данные отбора отражены в табл. 4.

Наиболее важной характеристикой в оценке эффективности работы набрызг-бетона, помимо проектной прочности, на 28 суток является динамика



Рис. 1. Подача бетонной смеси с фиброй

Таблица 3

Состав бетона Б25, применяемого для Московского метрополитена

Компонент	Тип	Единица измерения	Расход
Цемент	ПЦ 500 до	кг/м ³	450 кг
Песок	2,4 мм	кг/м ³	850 кг
Щебень	5÷10 мм	кг/м ³	850 кг
Вода		кг/м ³	189 кг
Пластификатор	E_FLU 100 slow	1 % от веса цемента	4,5 кг
Фибра	Dramix3D	кг/м ³	25 кг
Плотность			2343,5 кг/м ³
Ускоритель	Apral HT	7 % от веса цемента	31 кг
Осадка конуса			20,5 см



Рис. 2. Процесс нанесения набрызг-бетона

набора прочности бетонной смеси в первые часы после нанесения, именно от нес зависит скорость проходческого цикла. В европейском опыте динамика обозначает-

ся кривой J (рис. 3), отражающей параметры начальной динамики, необходимые для проектного решения по набрызг-бетону. Современные химические добавки по-

Таблица 4

Результаты отбора кернов из бетона Б25

Результаты образцов набрызга сталефибробетона на 19-е сутки				
Образец	Диаметр, мм	H, мм	S, см ²	Прочность, МПа
1	72	74	40,7	40
2	72	71	40,7	39,7

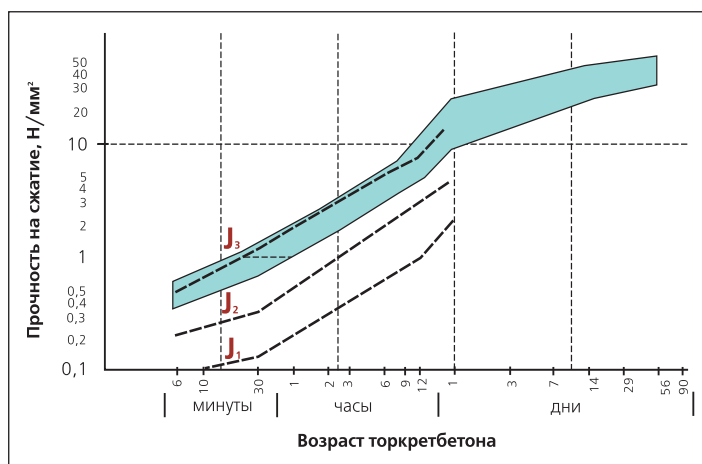


Рис. 3. Динамика набора прочности бетона

могут получить любую динамику, описанную данной кривой [10].

Другое важное преимущество использования фибронабрызг-бетона – более плотное прилегание отделки к грунту и отсутствие пустот, которые могут образовываться при набрызге с использованием армосеток и стальных арок. Данная мера помогает уменьшить общее количество бетона ввиду снижения толщины отделки и отсутствия необходимости создавать защитный слой для закрытия армосетки, а также минимизировать просадки грунта на поверхности (рис. 4 и 5).

Примеры использования сталефибробетона

Набрызг-бетонные отделки широко применяются в мире для строительства транспортных тоннелей, метрополитенов и станций. Опыт использования данной технологии есть и в Москве – при строительстве монтажной камеры между станциями «Фонвизинская» и «Бутырская» Люблинско-Дмитровской линии (рис. 6). Фибронабрызг-бетонная отделка оказалась в среднем на 20–25 % дешевле чугуна, и в 3 раза увеличила скорость проходки за счет высокой механизации труда.

Для испытания долговременных нагрузок, действующих на отделку, были установлены реперные датчики, проводился мониторинг. По результатам наблюдений деформации свыше 5 мм зафиксировано не было.

Помимо опытного участка Московского метрополитена фибронабрызг-бетон был использован в проекте Рокского тоннеля (рис. 7). Проектировщиком выступил Минск-метропроект, который выполнил проект финальной и первичной отделки из монолитного и набрызг-бетона с заменой арматуры на стальную фибру, что говорит о возможности прохождения экспертизы с данными решениями в будущем.

Сравнительный анализ стоимости погонного метра тоннеля приведен в табл. 5.

Накопленный опыт работ, как проектных, так и монтажных, говорит о большой перспективности данных технических решений при строительстве тоннелей в разных горно-геологических условиях, при совместной работе проектировщиков, поставщиков материалов и строителей.

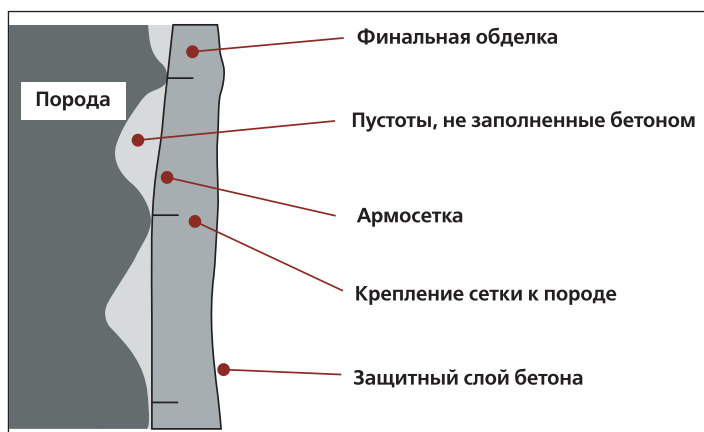


Рис. 4. Армирование с сеткой

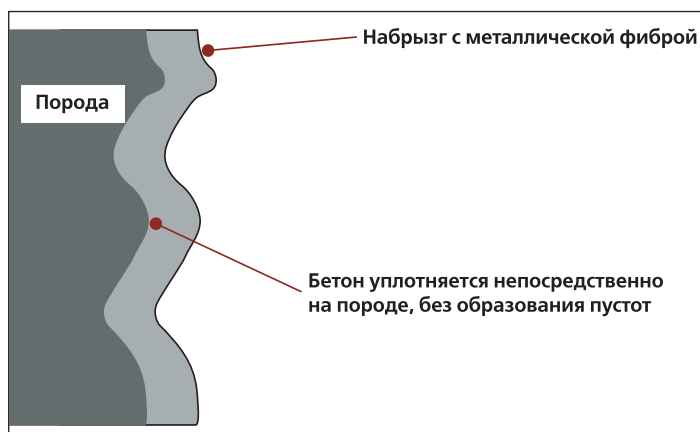


Рис. 5. Сталефибробрызг-бетон



Рис. 6. Строительство монтажной камеры между станциями «Фонвизинская» и «Бутырская» Люблинско-Дмитровской линии



Рис. 7. Строительство Рокского автодорожного тоннеля

Сборные железобетонные сегменты

Стальная фибра также используется в высокопрочной обделке из сборных сегментов; в некоторых случаях фибра может полностью заменить арматуру, в некоторых случаях значительно снизить ее количество.

Основные критерии для расчета по Model Code 2010 – классификация 5.6.3 [2].

Фибра может заменить арматуру в расчетах по предельным состояниям в случаях:

$$\begin{aligned} f_{R,1k} / f_{Lk} &> 0,4; \\ f_{R,3k} / f_{R,1k} &> 0,5; \\ f_{R,j} &= \frac{3F_{R,j}l}{2b b_{sp}^2}; \quad f_L = \frac{3F_L l}{2b b_{sp}^2}. \end{aligned}$$

Остаточная прочность после образования трещины классифицируется двумя параметрами [6, 7], а именно $f_{R,1k}$ (представляющая прочностной интервал) и буквы a, b, c или d (представляющие соотношение $f_{R,3k} / f_{R,1k}$) [4], где a, b, c, d соответствуют остаточным прочностным соотношениям:

- a – если $0,5 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 0,7$;
- b – если $0,7 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 0,9$;
- c – если $0,9 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 1,1$;
- d – если $1,1 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k} \leq 1,3$;
- e – если $1,3 \leq f_{R,3k} / f_{R,1k}$.

Прочностной интервал характеризуется двумя последующими цифрами в серии: 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0 МПа.

Проектировщик указывает класс, соотношение остаточной прочности и материал фибры.

Основные критерии Model Code 2010 – 7.7.2 [2]. Принцип проектирования

При отсутствии минимального количества традиционной арматуры любая конструкция с применением фибры должна удовлетворять одному из следующих требований:

$$\begin{aligned} d_u &> 20 d_{SLS}, \\ d_{peak} &> 5 d_{SLS}, \end{aligned}$$

где d_u – предельное отклонение,

d_{peak} – отклонение при максимальной нагрузке;

d_{SLS} – отклонение при рабочих нагрузках;

P_{ud} – всегда должна превышать P_{cr} .

На рис. 8 отражены моменты оптимальной работы фибробетона.

На основании листа технического задания производится расчет на возможность ис-

пользования решений на основе фибры в проекте. Помимо использования в качестве замены арматуры, фибра в РФ находит применение для предотвращения трещинообразования и уменьшения отбраковки при транспортировке.

Совместно с ТО-12 Бамтоннельстроя была произведена опытная партия колец для Байкальского тоннеля по предоставленным компанией «Макаферри» расчетам. В итоге была отработана технология введения фибры в бетонную смесь и сделана корректировка состава. По результатам установки на опытном участке сегменты обделки с фиброй показали более высокую трещиностойкость под воздействием домкратов ТПМК, что позволяет использовать менее

Таблица 5

Объем материалов на сооружение 1 пог. м Рокского автодорожного тоннеля

Наименование материала	Тоннель, армированный арматурными стержнями	Тоннель, армированный фиброй Wirand FF3 (доз. 30 кг/м³)
Арматурная сталь, кг	1042,7	325,13
Стальная фибра, кг	–	343,8
Бетон Б25, м³ (лоток/стены, свод)	4,6/14,46	4,6/14,46

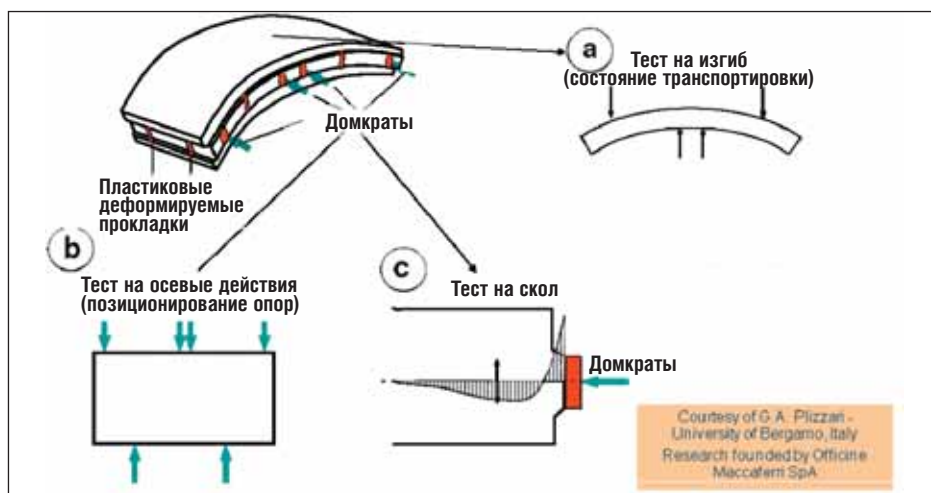


Рис. 8. Места оптимальной работы арматуры



Рис. 9. Тоннель Рива Стамбул

металлоемкий тип стандартного армирования сегментов.

Помимо прямого экономического эффекта при введении фибры в качестве замены/дополнения к арматуре нужно также учитывать косвенные факторы – уменьшение площади под хранение каркасов, снижение трудозатрат на вязку арматуры, уменьшение времени на выполнение работ,

уменьшение отбраковки сегментов и их дальнейшего ремонта.

В некоторых проектах использование стальной анкерной фибры Dramix помогло снизить стоимость сметы на 15–20 % в отличие от первоначального типа армирования.

На рис. 9 отражен тоннель Рива Стамбул – четырехполосный автодорожный тоннель,

Таблица 6

Статистика отбраковки элементов фибробетона при их изготовлении и установке

Производство			Установка		
Количество сегментов	Отбраковка, %	Требуют ремонта, %	Средние повреждения без ремонта, %	Средние повреждения с ремонтом, %	Сильные повреждения с ремонтом %
260000	0,8	2,8	2,2	0,3	0,1
	208	728	572	78	26

обделка которого выполнена без арматуры с использованием фибры Dramix.

Заключение

Экономическая эффективность фибрового армирования достигается за счет снижения трудозатрат на изготовление арматурных каркасов, процесс изготовления которых включает следующие операции: протяжку арматуры, рубку арматуры на заготовку, прокатку заготовки, сборку плоских сеток на точке, сборку объемных каркасов. Экономия составляет 11 % при комбинированной системе армирования и 18 % при использовании стальной фибры без арматуры.

Таким образом, технологию сталефибробетона следует использовать при выполнении требований нормативной документации, применяемой международным сообществом инженеров-проектировщиков. Данные международной нормативной документации полностью раскрывают преимущества использования сталефибробетона в сравнении с традиционной системой армирования, что существенно снижает затраты на сооружение подземных объектов и улучшает их эксплуатационные характеристики.

Ключевые слова

Сталефибробетон, фибра, методики расчета, дисперсное армирование.

Steel Fibers Reinforced Concrete, fiber, SFRC design codes.

Список литературы

1. Sorelli L., Toutlemonde F. On the design of steel fiber reinforced concrete tunnel lining segments // Eleventh International Conference on Fracture, Turin (Italy). – 2005. – pp 20–27.
2. FIB MODEL CODE 2010 Final draft, Volume 1, 2.
3. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton 1996: Richtlinie für Betonbau beim Umgang mit wassergefahrenden Stoffen, September 1996, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
4. European Committee for Standardization: EC2-1, Design of Concrete Structures – Part 1: General rules and rules for building
5. Winterberg R. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Einfluss von Stablfasern auf die Durchlässigkeit von Beton, Heft 483, Beuth-Verlag GmbH, Berlin
6. Brite-Euram: BRPR-CT98-0813, Test and design methods for steel fibre reinforced concrete
7. EN 14651: 2005 Test method for metallic fibered concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual)
8. Русанов В. Е. К оценке эффективности применения фибробетона в сборных тоннельных обделках // Транспортное строительство – 2010. – № 3. – С. 13–16.
9. ACI 506.1R-08 (American Concrete Institute).
10. EFNARC European specification for sprayed concrete.

Для связи с автором

Володин Максим Евгеньевич
ugc@maccaferri.ru



СТАНЦИЯ МЕТРО «МАЯКОВСКАЯ» В МОЕЙ ЖИЗНИ

Е. М. Пашкин, доктор геолого-минералогических наук, профессор РГРУ



Почти треть моей жизни связана с площадью Маяковского. Здесь я родился, пошел в школу, окончил институт, а затем поступил на работу в проектно-изыскательский институт «Метрогипротранс». Путь, который каждый день начинался со станции метро «Маяковская» вселял в меня какое-то непостижимое, большое по силе увлечение тоннельным искусством. Ведь начальником архитектурного отдела института в то время был автор проекта станции «Маяковская» Алексей Николаевич Душкин, а начальником отдела инженерной геологии, в котором я работал, был Владимир Федорович Мильнер, совместно решавший с академиком Федором Петровичем Саваренским проблему выбора глубины заложения станции «Маяковская»!

Жизнь на «Маяковке» все это время сопровождалась гордостью за то, что я живу на площади, где расположена самая красивая станция Московского метрополитена. И на вопрос, где я живу – всегда с достоинством отвечал – на «Маяковке». Я долго не мог понять, отчего во мне сформировалось такое чувство горделивости за это много вмещающее понятие. Безусловно, яркие юношеские впечатления не могли затмить одно из самых важных событий детства, которое с годами было осознано мною как весьма значимым – я оказался 11 сентября 1938 г. на открытии станции «Маяковская». Отец получил приглашение и взял меня с собой. Непередаваемый словами восторг охватил меня от увиденного волшебного убранства, которым любовались все приглашенные на открытие.

Конечно, взоры всех были устремлены вверх в углубленные кессоны сводов центрального нефа, где парили полные романтики того времени мозаичные панно А. А. Дейнеки. Помню, я не мог оторваться от воздушных сюжетов, и создавалось впечатление, что над головой окно, а выше – небо. Вскоре подошел четырехвагонный состав и все устремились в первый вагон, который быстро заполнился людьми, кроме первой секции, отделенной от

остальной части вагона металлическим ограждением. Тут же отцу предложили со мной перебраться туда – оказывается, первая секция предназначалась для пассажиров с детьми и пожилых людей – правило, сохранявшееся до середины сроков годов и, к сожалению, впоследствии исчезнувшее. Эти минуты, проведенные на станции в день ее открытия, запомнились на всю жизнь и, может быть, оказались судьбоносными в моей жизни.

Во время войны в ночное время станция использовалась как бомбоубежище, а днем с интервалами значительно более продолжительными, чем впоследствии, эта линия метро служила основным транспортным средством. Зима первого года войны выдалась очень холодной, школы были закрыты и мы втроем (это все, кто остался в Москве из ребят, живших в нашем огромном дворе) спускались в метро в торец станции, где в то время стоял бюст Маяковского. Там мы часами играли в футбол тряпичным мячом, сделанным из старого чулка, набитого тряпками. Игра обычно заканчивалась после того, как мяч улетал на рельсовый путь и мы переключались на другое. Используя стальные каннелюры колонн, один из нас резким движением запускал мяч по желобку колонны, после чего под действием центробежных сил он пролетал под аркой и опускался по желобку соседней колонны. Второй участник игры должен поймать монету, и выигрывал, если ему удавалось поймать мяч. В случае если он упустил монету, то проигрывал и уступал место третьему участнику игры. Иногда от сильного метания монета становилась неуправляемой. И в этом случае игра заканчивалась, когда мяч улетал на рельсы.

Шли годы, в послевоенное время на линии появились сначала шестивагонные, а несколько позднее восьмивагонные составы, заметно сократились интервалы движения и увеличился коэффициент перегрузки вагонов, а тормозной путь начинался и заканчивался в пределах станции. Очевидно, с этим было связано

появление течей в парусах колонн. Появляясь ежедневно на станции, я как гидрогеолог внимательно следил за развитием этого процесса до тех пор, пока он не стал вызывать опасение. Это вынудило меня написать письма министру транспортного строительства и председателю Моссовета, которые потом были переданы руководству «Метрогипротранса».

В течение нескольких лет без выявленной причины продолжались бессмысленные работы по преодолению течей в парусах с помощью инъекции растворов. Проводимые работы только ухудшили состояние станции. Сложившееся положение вызвало большой резонанс среди специалистов и жителей города. В интервью газете «Московская правда» я высказал свои соображения по поводу причины сложившейся ситуации. После анализа оказавшихся у меня материалов стало ясно, что причиной протечек на станции стали вибрационные нагрузки на глины, залегающие в подошве тоннелей. После их уплотнения над сводами станционных тоннелей возникли зоны отлипания, выявленные геофизическими исследованиями, по которым проходил переток напорных вод из слоя известняков, попадающих в результате в замкнутое пространство между смежными арками, откуда после потери герметизации швов между тубингами вода попадала в интерьер станции.

Однако этот алгоритм причинно-следственных связей не был учтен при проектировании мероприятий по предотвращению течей на станции. Ликвидировали по существу лишь следствия в виде трещин и пустот, возникших в заобделочном пространстве. Рано или поздно неликвидированная причина болезни, случившаяся на станции «Маяковская», может повториться.

Мне бы очень не хотелось воспринимать станцию «Маяковская» хронически больным подземным сооружением. Уж очень многое связывает меня с этой станцией и хотелось бы видеть ее здоровой.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОЛЕННЫХ ГРУНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ESTIMATED PERFORMANCE OF SALINE SOILS UTILIZED IN THE CONSTRUCTION OF TRAFFIC FACILITIES

А. Д. Каюмов, д. т. н., проф., АКНИИАД «Узавтойл»

Р. М. Худайкулов, старший научный сотрудник, Ташкентский автомобильно-дорожный институт, Узбекистан

A. D. Kayumov, professor, "Uzavtoyol" stock-company

R. M. Xudaykulov, the main scientific research member, Tashkent Automobile and Roads institute, Uzbekistan

В статье приведены результаты исследования расчетных характеристик засоленных грунтов земляного полотна автомобильных дорог Узбекистана, используемых при расчете дорожных одежд. В результате статистической обработки экспериментальных данных получены зависимости для определения расчетных характеристик, исходя из количества засоления, плотности и влажности грунтов.

In article provided results of studies of calculated characteristics of grounds in saline areas of Uzbekistan used in the sub grade soil construction of automobile roads. On the result of interpretation was taken the graphic analytical dependence for determination of calculated characteristics of grounds including from the type of saline.

К засоленным относятся грунты, содержащие в верхней метровой толще более 0,3 % по массе легкорастворимых – хлористых, сернокислых и углекислых солей натрия, кальция и магния. Почвы, содержащие в поверхностных слоях до глубины 1–2 м в свободном состоянии более 1 % легкорастворимых солей, называют солончаками [1]. Основными факторами появления засоленных грунтов вообще и, в частности, в Узбекистане являются искусственное орошение хлопчатника и других посевных, минерализованные грунтовые воды, близко залегаемые к поверхности земли, затрудненный сток поверхностных вод и превышение количества испарений от количества атмосферных осадков, обусловленных климатическим условием региона.

Анализ литературных материалов показывает, что в засоленных грунтах зем-

ляного полотна очень часто встречаются NaCl , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaHCO_3 , $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и другие соли.

Засоленные грунты распространены в основном в сухих засушливых зонах и занимают 240 млн гектаров площади всего земного шара. В странах СНГ засоленные грунты распространены в Казахстане, в республиках Центральной Азии, на территориях северо-восточного Кавказа и юго-восточной Украины, которые занимают в общем 120,8 млн гектаров площади. В Узбекистане орошаемые земли занимают 1970,7 тыс. гектаров площади, 50 % из которых приходятся на вновь осваиваемые земли. В частности, 75 % земель засолены в различной степени, из них слабозасоленные грунты составляют 1117,7 тыс. гектаров, средnezасоленные 611,2 тыс. и сильно засоленные 241,6 тыс. гектаров земли [2], которые широко используют-

ся при строительстве земляного полотна автомобильных и железных дорог (рис. 1 и 2).

В настоящее время при проектировании дорожной одежды и назначения конструкции земляного полотна автомобильных дорог в условиях Узбекистана расчетные характеристики засоленных грунтов – модуль упругости грунта E_p , удельное сцепление C_p и угол внутреннего трения ϕ_p принимаются по нормативным документам ШНК 2.05.02-07 [3] и МКН 46-08 [4]. При их выборе сначала устанавливают расчетные значения влажности и плотности грунтов для данных условий, а затем при известных их значениях определяют величины прочностных и деформационных характеристик.

Необходимо отметить, что в действующих нормативных документах приведены расчетные характеристики для глинистых и лёссовых грунтов. Однако при назначении расчетных характеристик грунтов в этих до-

Рис. 1. Земляное полотно из засоленного грунта



Рис. 2. Кристаллы соли в составе грунта



Таблица 1

Значения минимального возвышения поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод, м

Грунты	Хлоридное и сульфатно-хлоридное засоление				Сульфатное и хлоридно-сульфатное засоление			
	Коэффициент уплотнения							
	0,96	0,98	1,00	1,02	0,96	0,98	1,00	1,02
Слабозасоленные	1,30	1,10	0,90	0,70	1,10	0,90	0,70	0,50
Среднезасоленные	1,43	1,21	0,99	0,77	1,21	0,99	0,77	0,55
Сильнозасоленные	1,56	1,32	1,08	0,84	1,32	1,08	0,84	0,60
Избыточно засоленные	1,69	1,43	1,17	0,91	1,43	1,17	0,91	0,65

кументах не учитываются вид и количество солей в грунте. Это приводит к необоснованному назначению толщины дорожной одежды, высоты насыпи и крутизны откосов земляного полотна. Исходя из вышеизложенного, изучение влияния количества и вида солей в грунте на их расчетные характеристики является весьма актуальной задачей.

В научно-исследовательском институте автомобильных дорог ГАК «Узавтоюл» проводились наблюдения за работой земляного полотна из засоленных грунтов, находящегося в длительной эксплуатации, а также за построенными опытными участками, находящимися в различных условиях их увлажнения. Обследование проводили два раза в год (весной и осенью) в течение нескольких лет (с 2000 по 2014 г.). Дорожные одежды на обследованных участках имели следующие конструкции: асфальтобетонное покрытие толщиной 10–20 см и основание из гравийно-песчаной смеси толщиной 20–30 см. В процессе наблюдений были заложены шурфы на глубинах 0–0,1; 0,3–0,4; 0,5–0,6; 0,8–0,9 и 1,1–1,3 м, где весовым методом определяли влажность и методом режущего кольца (500 см³) плотность засоленных грунтов.

После статистической обработки результатов исследований и сравнения их с многолетними данными было установлено следующее. Разуплотнение грунта в верхней и нижней частях земляного полотна практически отсутствует, хотя годы наблюдений отличались суровой зимой и жарким летом. Средние значения коэффициента уплотнения грунта на глубине 0–0,4 м равны 1,02, на глубине 0,4–1,0 м – 0,99 и на глубине 1,0–1,5 м – 0,97.

Расчетная влажность засоленных грунтов земляного полотна автомобильных дорог зависит от типа местности по условиям увлажнения и вида засоления грунта и равна 0,60W_т для 1–2 типа местности, 0,65 W_т для 3 (W_т – влажность на границе текучести) типа местности.

Известно, что высота насыпи назначается из условия предохранения ее верхней части от увлажнения грунтовыми и поверхностными водами, что обеспечивается требуемым возвышением низа дорожной одежды над поверхностью земли и расчетным уровнем

Значения крутизны откосов земляного полотна из засоленных грунтов

Засоленность грунтов	Коэффициент запаса, $K_{\text{зп}}$			
	1,00		1,25	
	Нагрузка от заднего колеса автомобиля, т			
	10	13	10	13
Слабозасоленные	1:1,0	1:1,5	1:1,5	1:2,0
Среднезасоленные	1:1,5	1:2,0	1:2,0	1:2,5
Сильнозасоленные	1:2,0	1:2,5	1:2,5	1:3,0
Избыточно засоленные	1:2,5	1:3,0	1:3,0	1:3,5

грунтовых или поверхностных вод. Проведенные обследования дорог показывают, что минимальное возвышение поверхности покрытия в наиболее низком месте поперечного профиля над расчетным уровнем грунтовых вод в зависимости от коэффициента уплотнения грунтов при различных засолениях можно принимать по данным табл. 1.

Обследование существующих дорог показывает, что крутизну откосов насыпей, возводимых из различных засоленных грунтов, в зависимости от коэффициента запаса устойчивости и нагрузки от заднего колеса автомобиля можно назначить согласно табл. 2.

Специальные исследования, направленные на изучение влияния вида и количества

солей на расчетные характеристики засоленных грунтов – силу сцепления C_p , угол внутреннего трения ϕ_p и модуль упругости E_p , проводились в два этапа:

- в засоленных грунтах, искусственно сформированных в лабораторных условиях научно-исследовательского института автомобильных дорог при ГАК «Узавтоюл»;

- в полевых условиях, на опытном участке построенного на автомобильной дороге в Сырдарьинской области 4Р33 «Даштобод – Найман (Гулистон – Гагарин)» в сульфатно и хлоридно-сульфатно засоленных грунтах (рис. 3), а также на автомобильной дороге М-37 «Самарканд – Ашхобод – Туркменбаши» на участке 321–331 км, в хлорид-

Рис. 3. Общий вид опытного участка на автодороге 4Р33 «Даштобод – Найман (Гулистон – Гагарин)»





Рис. 4. Автомобильная дорога М-37 «Самарканд – Ашхабад – Туркменбаши, 321–331 км»

но и сульфатно-хлоридно засоленных грунтах (рис. 4).

Исследования в лабораторных условиях проведены с двумя разновидностями лессовых грунтов, отобранных в районе г. Ташкента.

Гранулометрический состав грунтов был определен ситовым и пипеточным методом с предварительным отмывом грунта от легкорастворимых солей, с применением в качестве диспергатора гексаметафосфата натрия.

Свойства грунтов определялись в соответствии с существующими стандартными методами исследования грунтов.

В табл. 3–5 приводятся гранулометрический состав, водно-физические свойства и химический состав исследуемых грунтов.

По содержанию легкорастворимых солей исследованные грунты относятся к незасоленным, а по дорожной классификации – это легкий пылеватый суглинок и тяжелая пылеватая супесь.

Образцы из лессовых грунтов измельчили механическим путем и просеяли через сито размером 1 мм. Затем хлоридные и сульфатные соли ($NaCl$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (мелкокристаллический) и $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (крупнокристаллический) растворили в различных соотно-

шениях: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 4, 12 % на воде. Подготовленный солевой раствор добавили в грунт, перемешали и получили смесь засоленного грунта с различной степенью засоления. После этого смесь засоленного грунта высушили на воздухе и вновь измельчили механическим путем и просеяли через сито размером 1 мм. Просеянный грунт увлажнили до нужной влажности: 0,60; 0,70; 0,80; 0,90 W_L и поместили в эксикатор. Для равномерного распределения влажности искусственно увлажненный засоленный грунт выдержали в эксикаторе 24 часа. Затем грунт уплотнили в специальное кольцо диаметром 7,1 см и высотой 3,5 см до коэффициента уплотнения 0,94; 0,96; 0,98; 1,00; 1,02. После этого кольцо с грунтом поместили в прибор «Маслова-Лурье» для определения силы сцепления C и угла внутреннего трения ϕ .

Силу сцепления C и угол внутреннего трения ϕ определяли при вертикальной нагрузке 0,1; 0,2; 0,3 МПа. Значения сдвига по горизонтальной плоскости получили с помощью мессуры. После установки мессуры постепенно поэтапно загружали сдвигающие касательные (горизонтальные) нагрузки. Разность сдвигающих нагрузок между этапами составляла 20 % от вертикальной нагрузки.

Горизонтальную нагрузку увеличивали до момента происхождения сдвига образца и фиксировали его значение. Этот процесс повторяли на шести образцах под соответствующей вертикальной нагрузкой. После этого составили график зависимости сопротивления грунта сдвигу от вертикальной нагрузки и определили ϕ и C .

На первом цикле исследования в лабораторных условиях формовали образцы, уплотняя их до максимальной плотности при оптимальной влажности с содержанием соли в составе 5 % $NaCl$ и 3 % $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$. При проведении испытания контролировали влажность и плотность грунта в зоне сдвига. Практически влажность и плотность в зоне сдвига во всех случаях оказывалась одинаковой и равной влажности и плотности до сдвига, из чего следовало, что уплотнения в процессе сдвига не происходило. Результаты исследований представлены в табл. 6, из которой следует, что у засоленных грунтов, содержащих как хлористый, так и сернокислый натрий, сцепление меньше, а угол внутреннего трения больше, чем у незасоленных грунтов. Это можно объяснить тем, что в грунте с оптимальной влажностью, содержащим 5 % $NaCl$ и 3 % $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ при 20 °С растворяется соответственно 3,54 и 2,58 % солей, а в кристаллическом состоянии остается соответственно 1,46 и 0,42 %. Эти соли, являясь структурными элементами, увеличивают дисперсность грунта.

Поскольку на поверхности кристаллов легкорастворимых солей не образуются водно-коллоидные пленки, то с увеличением содержания соли в нерастворенном состоянии, т. е. в качестве механической примеси в грунте сцепление падает, а угол внутреннего трения увеличивается.

Результаты исследований на втором цикле по выявлению влияния количества солей, таких как $NaCl$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (мелкокристаллический) и $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (крупнокристаллический) на прочностные характеристики представлены на рис. 5 и 6.

В результате исследований установлено, что хлористый натрий в малых концентрациях (до 1 %) увеличивает сцепление и угол внутреннего трения грунта. В процессах пептизации и частичной дегидратации грунта, происходящих под влиянием слабых растворов хлористого натрия, уменьшается толщина водных пленок грунтовых частиц и

Таблица 3

Гранулометрический состав грунтов

№ грунта	Содержание фракций, %					Наименование грунта по ШНК 2.05.02-08
	0,25–0,15	0,15–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005	
1	0,3	1,02	57,62	12,26	28,80	Легкий пылеватый суглинок
2	0,4	13,09	61,56	7,94	17,01	Тяжелая пылеватая супесь

Таблица 4

Водно-физические свойства грунтов

№ грунта	Предел текучести, W_L	Предел раскатывания, W_P	Число пластичности, I_P	Оптимальная влажность, W_o	Максимальная плотность, ρ_{kg/m^3}
1	0,27	0,19	0,08	0,15	1790
2	0,266	0,21	0,056	0,17	1750

увеличивается число контактов в единице объема. В связи с этим происходит коагуляция, сжатие диффузного слоя, уменьшение количества связанной воды, часть солей остается в нерастворенном состоянии, т. е. в качестве механической примеси.

С увеличением дозировки хлористого натрия до 13 % уменьшается сила сцепления и угла внутреннего трения грунта.

Сернокислый натрий до 3 % уменьшает сцепление и увеличивает угол внутреннего трения грунта. Однако увеличение дозировки этой соли до 13 % приводит к уменьшению силы сцепления, а угол внутреннего трения практически не изменяется по сравнению с незасоленными грунтами.

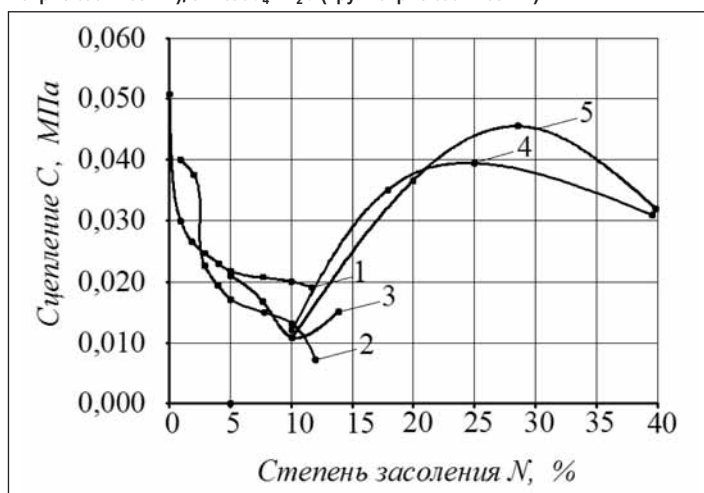
С увеличением содержания сернокислого магния до 13 % уменьшается сила сцепления и угол внутреннего трения грунта.

Гипсовые грунты отличаются от незасоленных повышенным сопротивлением сдвигу. С увеличением количества гипса до 30–40 % практически увеличивается сила сцепления и угол внутреннего трения.

Для определения деформационных характеристик в выше приведенном порядке приготовили образцы засоленного грунта в металлическом кольце с диаметром 10 см и высотой 11 см. На поверхность уплотненного образца поместили штамп диаметром 3 см и на рычажном прессе определили модуль упругости засоленного грунта E при разном удельном давлении P .

При определении модуля упругости засоленного грунта удельные нагрузки на грунты прикладывали в зависимости от влажности грунтов при испытаниях, и она имела значения 0,03–0,2 МПа.

Рис. 5. График зависимости удельного сцепления засоленного грунта от степени засоления: 1 – NaCl, 2 – $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, 3 – $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 4 – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (мелкокристаллический), 5 – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (крупнокристаллический)



Химический состав грунтов

№ грунта	Содержание, %		
	легкорастворимых солей	гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	карбонатов ($CaCO_3$)
1	0,210	0,44	20,0
2	0,144	0,22	22,0

Таблица 5

Прочностные свойства засоленных грунтов

Грунт	Сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения ϕ , град
Незасоленный	0,026	26
Засоленный (5 % NaCl)	0,017	30
Засоленный (3 % $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)	0,019	32

Таблица 6

В полевых условиях для определения значения динамических модулей упругости грунтов применили установку динамического нагружения и для статических модулей упругости – рычажный пресс. Установка снабжена динамометрическим кольцом с тензодатчиками, что позволяет контролировать величину усилия. В качестве амортизатора использовали специальное резиновое кольцо либо пружину. Для измерения деформаций применяли специальные пластины с тензодатчиками и записью на осциллограф, который фиксировал величину деформации на движущейся бумажной ленте с увеличением от 2 до 48 раз. При статическом нагружении, деформации

измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Наряду с определением статических и динамических модулей упругости рабочего слоя земляного полотна на опытном участке и на существующих автомобильных дорогах, устанавливали прочностные характеристики грунта – угол внутреннего трения и сцепление непосредственно на опытной секции с помощью прибора одноплоскостного вращательного среза (а. с. № 1678969) [5].

Для контроля прочностные характеристики, определенные прибором одноплоскостного вращательного среза, сопоставляли со значениями угла внут-

Рис. 6. График зависимости угла внутреннего трения засоленного грунта от степени засоления: 1 – NaCl, 2 – $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, 3 – $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 4 – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (мелкокристаллический), 5 – $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (крупнокристаллический)

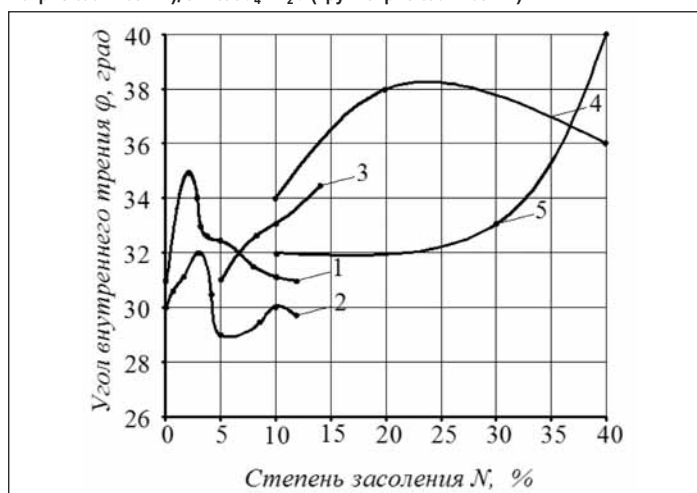


Таблица 7

Расчетные характеристики засоленных грунтов при $K_y = 1,0$

Степень засоления $N, \%$	Сульфатное и хлоридно-сульфатное засоление				Хлоридное и сульфатно-хлоридное засоление			
	Влажность грунтов, в долях W_T							
	0,60	0,70	0,80	0,90	0,60	0,70	0,80	0,90
0	$\frac{80/29}{0,054}$	$\frac{62/26}{0,043}$	$\frac{50/25}{0,036}$	$\frac{44/24}{0,031}$	$\frac{76/26}{0,064}$	$\frac{60/24}{0,053}$	$\frac{49/23}{0,046}$	$\frac{43/22}{0,051}$
3	$\frac{78/27}{0,052}$	$\frac{60/24}{0,041}$	$\frac{48/23}{0,034}$	$\frac{42/22}{0,029}$	$\frac{74/24}{0,062}$	$\frac{58/22}{0,051}$	$\frac{47/21}{0,044}$	$\frac{41/20}{0,049}$
6	$\frac{76/25}{0,049}$	$\frac{58/22}{0,038}$	$\frac{46/21}{0,031}$	$\frac{40/20}{0,026}$	$\frac{72/22}{0,059}$	$\frac{56/20}{0,048}$	$\frac{45/19}{0,041}$	$\frac{39/18}{0,046}$
9	$\frac{73/22}{0,046}$	$\frac{55/19}{0,035}$	$\frac{43/18}{0,028}$	$\frac{37/17}{0,023}$	$\frac{69/20}{0,056}$	$\frac{53/18}{0,045}$	$\frac{42/17}{0,038}$	$\frac{36/16}{0,043}$
12	$\frac{70/20}{0,043}$	$\frac{52/17}{0,032}$	$\frac{40/16}{0,025}$	$\frac{34/15}{0,020}$	$\frac{66/17}{0,053}$	$\frac{50/16}{0,042}$	$\frac{39/15}{0,035}$	$\frac{33/14}{0,040}$

Примечание. В числителе слева – значение модуля упругости грунта E_p (МПа), справа – значение угла внутреннего трения грунта ϕ_p (град), в знаменателе – значение силы сцепления грунта C_p (МПа).

Таблица 8

Коэффициенты, учитывающие влажность, степень засоления и коэффициент уплотнения грунтов

Сульфатное и хлоридно-сульфатное засоление					
ΔE_w , МПа	300	ΔC_w , МПа	0,15	$\Delta \phi_w$, град	50
ΔE_N , МПа	0,0238	ΔC_N , МПа	0,0009	$\Delta \phi_N$, град	0,7
ΔE_3 , МПа	178,57	ΔC_3 , МПа	4,643	–	–
Хлоридное и сульфатно-хлоридное засоление					
ΔE_w , МПа	275	ΔC_w , МПа	0,325	$\Delta \phi_w$, град	25
ΔE_N , МПа	0,0238	ΔC_N , МПа	0,012	$\Delta \phi_N$, град	0,7
ΔE_3 , МПа	357,14	ΔC_3 , МПа	4,643	–	–

ренного трения и удельного сцепления, полученного в лабораторных условиях на приборе «Маслова-Лурье», используя образцы грунта, отобранные с места обследования.

Экспериментально полученные в лабораторных и полевых условиях значения расчетных характеристик засоленных грунтов C , ϕ и E были статистически обработаны. Их значения при коэффициенте уплотнения $K_y = 1,0$ приведены в табл. 7.

Из табл. 7 следует, что с увеличением влажности грунтов и количества солей уменьшаются их расчетные характеристики независимо от типа засоления, а с увеличением коэффициента уплотнения наоборот, увеличиваются.

После математического анализа экспериментальных данных получены выражения для определения расчетных характеристик сульфатно и хлоридно-сульфатно (СХС), хлоридно и сульфатно-хлоридно (ХСХ) засоленных грунтов:

$$\left. \begin{aligned} E_{СХС} &= \Delta E_w (W_{PAC}^2 - 1,9 \cdot W_{PAC} + 0,98) - \\ &- \Delta E_N (N^2 + 23 \cdot N + 1,20) + \Delta E_3 (K_3^2 - 0,25 \cdot K_3 - 0,64) \\ E_{ХСХ} &= \Delta E_w (W_{PAC}^2 - 1,9 \cdot W_{PAC} + 0,98) - \\ &- \Delta E_N (N^2 + 23 \cdot N + 1,20) + \Delta E_3 (K_3^2 - 0,27 \cdot K_3 - 0,64) \end{aligned} \right\} (1)$$

$$\left. \begin{aligned} C_{СХС} &= \Delta C_w (W_{PAC}^2 - 1,99 \cdot W_{PAC} + 1,10) - \\ &- \Delta C_N (N + 0,22) + \Delta C_3 (K_3^2 - 1,8872 \cdot K_3 + 0,890) \\ C_{ХСХ} &= \Delta C_w (W_{PAC}^2 - 1,99 \cdot W_{PAC} + 1,10) - \\ &- \Delta C_N (N + 0,22) + \Delta C_3 (K_3^2 - 1,8872 \cdot K_3 + 0,890) \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \phi_{СХС} &= \Delta \phi_w (W_{PAC}^2 - 1,82 \cdot W_{PAC} + 1,31) - \Delta \phi_N \cdot N \\ \phi_{ХСХ} &= \Delta \phi_w (W_{PAC}^2 - 2,02 \cdot W_{PAC} + 1,89) - \Delta \phi_N \cdot N \end{aligned} \right\} (3)$$

где ΔE_w , ΔE_N , ΔE_3 , ΔC_w , ΔC_N , ΔC_3 , $\Delta \phi_w$ и $\Delta \phi_N$ – соответственно коэффициенты, учитывающие влажность, степень засоления, коэффициент уплотнения грунтов, значения которых приведены в табл. 8.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов в лабораторных и полевых условиях показывают, что не только влажность и плотность, а также вид и количество солей в грунтах влияют на их расчетные характеристики – модуль упругости E_p , угол внутреннего трения ϕ_p , удельную силу сцепления C_p . Исходя из этого, необходимо учитывать вид и количество засоления грунтов при расчете дорожных одежд.

При разработке конструкции дорожных одежд значения расчетных характеристик засоленных грунтов в зависимости от влажности и плотности, количества и вида солей рекомендуется определять по выражениям (1) – (3).

Ключевые слова

Засоленные грунты, влажность грунта земляного полотна, оптимальная влажность, максимальная плотность.

Saline soil, soil moisture of subgrade, optimum moisture content, maximum commodity.

Список литературы

1. Бабков В. Ф., Андреев О. В. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 2: М.: Транспорт, 1987. – 415 с.
2. Кузиев Р. К., Сектименко В. Е., Исмонов А. Дж. Атлас почвенный покрова Республики Узбекистан (на узб. языке). Госкомитет «Кадастр земли». Ташкент, 2010. – 44 с.
3. ШНК. 2.05.02-07 Автомобильные дороги. Нормы проектирования. Ташкент, 2007 г. 89 с.
4. МКН 46-2008. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд. Ташкент, 2008 г. 246 с.
5. А. с. № 1678969. Устройство для определения свойств грунтов. М.: Бюлл. изобр. 1991. № 35.

Для связи с авторами

Каюмов Абдулбаки Джалилович
AD_KAFEDRA@mail.ru
Худайкулов Рашидбек Мансуржанович
Rashidbek_19_87@mail.ru

