

Журнал  
Тоннельной ассоциации России

## Председатель редакционной коллегии

К. Н. Матвеев, председатель  
правления ТАР

## Зам. председателя редакционной коллегии

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

## Ответственный секретарь

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

## Редакционная коллегия

В. В. Адушкин, академик РАН  
В. Н. Александров  
М. Ю. Беленький  
А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук  
В. В. Внутских  
С. А. Жуков  
Б. А. Картозия, доктор техн. наук  
Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук  
М. О. Лебедев, канд. техн. наук  
И. В. Маковский, канд. техн. наук  
Ю. Н. Малышев, академик РАН  
В. Е. Меркин, доктор техн. наук  
А. Ю. Старков  
Б. И. Федунец, доктор техн. наук  
Т. В. Шелитько, доктор техн. наук  
Ш. К. Эфендиев

## Тоннельная ассоциация России

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

## Издатель

ООО «Метро и тоннели»

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

## Генеральный директор

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

Перепечатка текста и фотоматериалов  
журнала только с письменного  
разрешения издательства  
© ООО «Метро и тоннели», 2019

### Строительство метро

Простых проектов в транспортном строительстве не бывает **2**

Проходка начинается с команды: как с команды «На старт!»,  
так и с команды специалистов **4**

**В Тоннельной ассоциации России** **6**

### Освоение подземного пространства

«Высокие технологии» подземного строительства  
при реновации жилой застройки в Москве **14**

Д. С. Конюхов

### Проектные решения

Абсолютная тяговая сеть линий метрополитена  
с непрерывным питанием вагонов и никак иначе **16**

А. Б. Куровский

Проектирование и строительство первого участка  
третьей линии Минского метрополитена.  
Особенности проектных решений **18**

П. Н. Непочелович

### Железнодорожные тоннели

Надежность тоннельных конструкций  
при эксплуатации Северомуйского тоннеля **22**

М. О. Лебедев, Ю. С. Исаев, А. Д. Басов, О. В. Бойко,  
К. В. Романевич, Р. И. Ларионов, В. Г. Трунев

Новые технологические и конструктивные решения,  
рожденные при строительстве тоннелей БАМ **26**

К. П. Безродный

### Щитовая проходка

Импортозамещение в сфере горностроительных работ.  
Опыт применения механизированного  
тоннелепроходческого комплекса российского  
производства при строительстве  
Санкт-Петербургского метрополитена **28**

А. Н. Ревва

### Шахтное строительство

Механизация горнопроходческих работ.  
Опыт применения стволопроходческого комбайна  
российского производства при строительстве  
Санкт-Петербургского метрополитена **30**

А. Н. Ревва

### Испытания грунтов

Применение стабилизаторов для улучшения  
прочности грунтового основания автомобильных дорог **36**

Р. М. Худайкулов, Т. Л. Мирзаев

### В порядке обсуждения

Современная роль инженерной геологии и гидрогеологии  
при освоении подземного пространства мегаполисов **40**

М. С. Захаров, Е. М. Пашкин

### Зарубежный опыт

Методы искусственного интеллекта  
при поиске трещин в обделке тоннеля **46**

В. В. Космин

## Партнеры Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой



## ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Строительство  
станции «Ржевская»  
Московского метро  
(с. 2)

# ПРОСТЫХ ПРОЕКТОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕ БЫВАЕТ

Одна из старейших российских компаний АО «Мосметрострой» в октябре 2019 г. отмечает свое 88-летие. Накануне этой важной даты генеральный директор Сергей Анатольевич Жуков рассказал о строительстве самого сложного участка на Большом кольце метро и зарубежных проектах компании.



Общий вид на станционный котлован «Авиамоторной»

**– Сергей Анатольевич, каково значение Большой кольцевой линии (БКЛ) для развития транспортной системы столицы?**

– При разработке проекта самой длинной в мире кольцевой линии протяженностью 69 км учитывались не только пассажиропотоки и перспективы отдаленных от центра города районов, но и принцип расположения на ней станций, обеспечивающих возможности поездки от пункта А до пункта Б с не более чем двумя пересадками. На БКЛ пассажиры смогут сделать пересадки на 19 существующих линий, 4 – на МЦК, 6 – на Московские центральные диаметры, которые строятся в городе параллельно, и 11 – на железнодорожные станции. Благодаря этому горожане сэкономят в среднем по 30 минут на каждой поездке.

**– Сколько станций находится в работе у Мосметростроя на Большом кольце?**

– На северо-восточном участке БКЛ мы сооружаем шесть станций разной глубины залегания и уровня расположения по отношению к действующим линиям, на которые запроектированы пересадочные узлы. До конца года планируем запустить две из них – «Лефортово» и «Авиамоторную». Открытие следующего участка с четырьмя станциями «Рубцовская», «Стромынка», «Ржевская» и «Шереметьевская» намечено на 2021–2022 гг.

Работы на всех станциях и перегонах сопряжены со сложной гидрогеологией, неоднократным пересечением железной дороги и транспортных магистралей, перекладкой множества инженерных коммуникаций. Например, когда тоннелепроходческие комплексы проходили под старейшей станцией столичной подземки «Сокольники» Сокольнической линии, то для безопасного преодоления обводненного участка использовали дополнительный страховочный пакет. В том числе временно закрывалось движение на пяти станциях красной линии от «Красносельской» до «Бульвара Рокоссовского».

**– Какой из перечисленных объектов северо-восточного участка самый сложный?**

– Простых проектов в транспортном строительстве, тем более в таком направлении как метро и тоннелестроение, не бывает. Каждый из них имеет свою специфику и нюансы. Но тем интереснее работать и наблюдать динамику развития проекта и в итоге проехать по законченному тоннелю, пройти по построенной станции метро, которые будут многие десятилетия доставлять удобства и радость пассажирам.

**– Сколько сейчас тоннелепроходческих комплексов задействовано в Мосметрострое?**

– Пять тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) задействовано на наших объектах. Щиты «Татьяна» и «София» строят тоннели от «Стромынки» до «Ржевской», «Инна» и «Елена» прокладывают перегоны между «Ржевской» и «Савеловской», а «Клавдия» продлевает Люблинско-Дмитровскую линию на север.

**– Расскажите подробнее о продлении Люблинско-Дмитровской линии, ставшей своего рода вызовом для метростроителей из-за непредсказуемой геологии.**

– Кажется, совсем недавно сдали «Окружную», «Верхние Лихоборы» и «Селигерскую». Теперь нам доверили продление «салатовой» линии. Здесь появятся станции «Улица 800-летия Москвы» и «Лианозово», которые улучшат транспортную доступность для жителей районов Дмитровский, Восточное Дегунино, Бескудниковский и Лианозово. В перспективе Люблинско-Дмитровская линия выйдет за пределы МКАД к поселку Северный. В 2023 г. рядом со строящимся комплексом Московского физико-технического института появится станция «Физтех».

**– Работа там уже кипит?**

– В начале лета тоннелепроходческий комплекс Lovat с бесменным именем «Клавдия» начал строительство перегонного тоннеля от камеры съездов за «Селигерской» до

«Лианозово». Станцию «Улица 800-летия Москвы» ТПКМ пройдет транзитом до «Лианозово», оставив за собой 2,3 км левого тоннеля. Затем предстоит аналогичный маршрут по правому перегону. Кроме того, мы готовимся к сооружению ограждающих конструкций станционных котлованов.

**– Помимо участия в масштабной программе строительства столичного метрополитена, Мосметрострой ведет проекты с зарубежными партнерами. Какие это объекты?**

– Сегодня мы реализуем проекты в двух странах: это Сербия и Индия. В Сербии в рамках реконструкции железнодорожной линии Белград – Стара Пазова – Нови Сад – Суботица – Государственная граница работаем по двум контрактам: строительство двух однопутных железнодорожных тоннелей «Чортановцы» суммарной длиной 2240 м и возведение 41-го искусственного сооружения, включая водопропускные трубы, подземные переходы, путепроводы, мосты. В Индии строим участок новой линии метро в г. Мумбаи, штат Махараштра протяженностью 4072 пог. м с четырьмя станциями.

**– Как давно вы сотрудничаете с иностранными компаниями?**

– Первые шаги по сотрудничеству с иностранными компаниями Мосметрострой начал в 90-е годы прошлого столетия. Правда, это касалось не строительного контракта, а договора на покупку первого механизированного тоннелепроходческого комплекса для сооружения Московского метрополитена. Им был щитовой комплекс канадской фирмы Lovat, который и сегодня продолжает трудиться на наших объектах. А уже в новом столетии контакты с иностранными компаниями распространились и в плоскости реализации Мосметростроем зарубежных контрактов. За это время компания приняла участие в двух крупных тоннельных проектах в Турции и Израиле.

**– Расскажите про будущие проекты совместно с компаниями других стран?**

– У Мосметростроя планы не сбавляют темпы по дальнейшему освоению зарубежного рынка. Однако о конкретных проектах говорить преждевременно. Вы прекрасно знаете, что сегодня получить контракт, как в России, так и за рубежом, можно только победив в тендере. А конкуренция в мире даже в такой специфической отрасли как метро и тоннелестроение очень большая. Но стоит отметить, что репутация у Мосметростроя в мировом тоннельном сообществе очень высокая, в наш адрес приходит много обращений и предложений от иностранных компаний по совместному участию в конкурсах на строительство тоннелей и метрополитенов. Так что мы оптимистично смотрим на дальнейшие перспективы загрузки нашей компании в зарубежных контрактах.



ТПМК Herrenknecht S-772 «Инна» прокладывает левый перегонный тоннель от уникальной круглой камеры за станцией «Ржевская» в сторону «Савеловской» Большой кольцевой линии



Подготовка к старту проходки в Сербии

Сооружение двух параллельных тоннелей «Чортановцы» на участке сербской железной дороги Стара Пазова – Нови Сад



## ПРОХОДКА НАЧИНАЕТСЯ С КОМАНДЫ: КАК С КОМАНДЫ «НА СТАРТ!», ТАК И С КОМАНДЫ СПЕЦИАЛИСТОВ

На Южном участке Большой кольцевой линии выполнено практически 50 % всех проходческих работ. 4 км тоннелей готовятся к следующим этапам строительства – монтажу жесткого основания под верхнее строение пути и монтажу самого железнодорожного полотна. Несмотря на возникшие вначале реализации проекта проблемы, специалисты ООО «ИБТ» идут по графику и успешно выполняют поставленные руководством города задачи. Заместитель главного инженера компании по ТПК, механизации и энергетике Евгений Михайлович Камнев рассказал о специфике работы.



Строительство станции «Улица Новаторов»

*– Евгений Михайлович, Вы – опытный, высококвалифицированный специалист. Коллеги из ТАР Вас помнят еще по работе в условиях, приближенных к экстремальным, в Ашхабаде. Как работаете в Москве?*

– Замечательно работаете. Другой регион, другая геология, другие технологии. Вообще надо сказать, что Москва как другая планета. Она более высокотехнологична, более насыщена современным оборудованием с использованием последних изобретений и наработок в строительной отрасли. Те же щиты насыщены больше компьютерными технологиями, которые позволяют в автоматическом режиме решать некоторые задачи.

*– Вы упомянули другую геологию. Какова специфика работы в московских грунтах?*

– Часто меняющийся вид грунта, т. е. то в песчаннике машины идут, то в глине, то в черной глине со слоями высокой водонасыщенности. Мы всегда предельно внимательны при проходке, а здесь приходится еще скрупулезнее подходить к делу. В песчаннике скорость маленькая, по глине щит идет нормально. В плотной глине скорость снижается. Была пара моментов, когда тяжело было удерживать щит в нужных параметрах, потому что получалось, что 2/3 забоя – песчаник, а низ – глина, и щит просто

тянуло вверх по наименьшему сопротивлению. Но маркшейдер и машинист постоянно находятся в машине, проводят постоянный мониторинг и ведут ее с учетом всех нюансов.

*– Компания «ИБТ» – обладатель двух современных тоннелепроходческих механизированных комплексов. Что это за машины и сколько на их счету километров тоннелей?*

– На самом деле у нас три комплекса. Один, небольшого диаметра, находится до сих пор в Туркмении. А два «немца»: ТПМК Herrenknecht S-218 и ТПМК Herrenknecht S-219 у нас появились в 2002 г. Оба – по 6 м в диаметре. За это время они у нас построили 33 км дренажно-коммуникационных тоннелей в Ашхабаде и вот уже почти 5 км в Москве: 600 м на Калининско-Солнцевской линии метро и 4 км на ЮУ БКЛ.

*– Кстати, кто придумывал имена проходческих комплексов?*

– Коллектив. Причем в Ашхабаде были одни имена, в Москве – другие. Например, S-218, который сегодня известен под именем «Наталья», у нас был «Гурбансолтан-Эдждэ», что в переводе с туркменского означает «мать»; S-219, который сегодня называется «Розой», был «Надеждой» – в честь надежды на светлое

будущее, а 3-метровый ТПМК до сих пор у нас называется «Бахар», что в переводе с туркменского означает «весна».

**– Ашхабад и Москва. Разные грунты. Разная специфика работы. Как одними и теми же щитами удастся успешно построить тоннели и там, и тут?**

– Всё просто. Ашхабад – это тиксотропные грунты, и ротор там был в облегченном варианте. А для Москвы мы усилили конструкцию, установив больше режущего инструмента, заменили ротор, переоборудовали хвостовую часть для нагнетания раствора и заменили подшипник главного привода. И сегодня после каждой сбойки мы в обязательном порядке заменяем режущий инструмент.

**– Евгений Михайлович, как в целом оцениваете московские проекты, в которых Вы принимали участие и которыми занимаетесь сегодня?**

– Пока я участвовал только в строительстве тоннелей на «желтой» ветке метро, которую сдали в прошлом году, и вот теперь здесь применяю свои знания. Если сравнивать эти проекты, то оба очень интересные, по-своему уникальные. По составу грунта – практически идентичные. А вот по самой проходке есть некоторые отличия. На Мичуринском проспекте, например, от поверхности земли до щита расстояние всего 2 м. Надо пройти аккуратно, без провалов и деформации дороги. Был участок с действующим газопроводом и это была практически ювелирная работа. Перед проходкой нам сначала пришлось брать коммуникацию в защитный футляр, а потом идти щитом под этой конструкцией на расстоянии всего в один метр!

**– Действительно ювелирная работа. Как считаете, с чего начинается успешная проходка?**

– Проходка начинается с команды! Как с команды: «На старт!», так и с команды специалистов. Мне повезло – у меня она замечательная: профессиональная и дружная. Потому что как ни крути – многотонная машина без людей не поедет.

**– Каков фронт работ на сегодня?**

– 8 октября у нас год со старта проходки на Южном участке БКЛ. И как раз к этой дате мы пройдем ровно половину всего маршрута. С учетом непростой геологии мы идем хорошо, выдерживаем требуемую скорость проходки. Думаю, что оставшееся расстояние пройдем в срок. Единственная сложность, которая предстоит в конце пути – это сооружение тоннеля под действующей станцией «Калужская». Мы стартуем с площадки № 6 (станция «Зюзино») и идем 2 км 114 м левого и правого перегонных тоннелей. Но проектное решение есть, и мы сделаем все возможное, чтобы успешно преодолеть все технические трудности!



Строительство станции «Воронцовская»



Строительство станции «Зюзино»

Коллектив проходчиков, г. Ашхабад



# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТОННЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС И 45-я ГЕНЕРАЛЬНАЯ АССАМБЛЕЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОННЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ



С 3 по 9 мая 2019 г. в Выставочном центре **Mostra D'Oltremare Неаполя (Италия)** состоялись **Международный тоннельный конгресс и 45-я Генеральная ассамблея Международной тоннельной ассоциации (ITA)**. Участие в конгрессе приняли более 2000 делегатов из 78 стран. Российскую Федерацию представляли члены Тоннельной ассоциации России: АО «Мосинжпроект», АО «Метрогипротранс» и АО «Ленметрогипротранс».

**Н**а церемонии открытия генеральный директор «Salini Impregilio» Пьетро Салини заявил: «Город будущего находится в центре всех основных глобальных проблем, особенно в отношении изменения климата. Именно поэтому мы должны продолжать инвестировать в тоннельное и подземное строительство». Прочитавший свою традиционную лекцию М. Херренкнехт, в частности сказал: «Мы строим подземные сооружения по всему миру в любых инженерно-геологических условиях. Инновации позволяют нам осуществлять проекты, которые были невозможны еще несколько лет назад».

Новым президентом Международной тоннельной ассоциации была избрана госпожа Цзиньсю Янь (КНР), обозначившая основные цели работы ITA: «Во-первых: укреплять связь с международными организациями, национальными политическими форумами и между-

народными банками в целях увеличения вклада тоннелестроения в достижение целей устойчивого развития. Во-вторых, улучшить общение и обмена между странами-членами ITA и промышленностью путем обмена опытом, организации симпозиумов, учебных программ и других подобных мероприятий. В-третьих, признать достижения нашей отрасли и содействовать обмену знаниями и применению новых технологий между всеми заинтересованными сторонами, включая руководителей и инвесторов. В-четвертых, сосредоточить внимание на общих проблемах и задачах тоннелестроения и стремиться к поиску новых решений на основе коллективных усилий всех членов ITA и промышленности».

На конгрессе прошли технические сессии по следующим направлениям:

- археология, архитектура и искусство в подземном строительстве;



- устойчивость окружающей среды в подземном строительстве;
- геолого-геотехнические знания и требования к реализации проекта;
- улучшение грунтов в подземных условиях;
- инновации в технике, материалах и оборудовании для подземного строительства;
- длинные и глубокие тоннели;
- информационное сопровождение строительства;
- управление рисками, контракты и финансовые аспекты;
- безопасность в подземном строительстве;
- стратегическое использование подземного пространства для обеспечения жизнеспособности городов;
- городские тоннели.

От АО «Мосинжпроект» на конгрессе были представлены доклады Д. С. Колюхова «Обеспечение сохранности сложившейся застройки при строительстве метрополитена в Москве» и А. Г. Полянкина «Улучшение технологических свойств грунта в забое ЕРВ ТПМК с использованием пенных реагентов».

На открытой сессии рассматривалась тема «Тоннели: устойчивая связь между прошлым и будущим», на которой особое внимание было уделено вопросам ремонта и технического обслуживания тоннелей с использованием методов искусственного интеллекта, баз данных и BIM-технологий для реализации эффективного мониторинга технического состояния подземных сооружений, сроков и методов их ремонта. Докладчиками подчеркивалось, что методы обследования и мониторинга в прошлом были ограничены визуальным контролем и ручными измерениями, в то время как сегодня BIM-технологии с использованием лазерного сканирования, термографии и геофизики позволяют делать это значительно более эффективно. Основная проблема при проведении ремонтных работ – это выполнить ремонт в условиях эксплуатируе-

мого сооружения с минимальным временем простоя.

- новые принципы проектирования сборных обделок тоннелей;
- руководство по работе со сжатым воздухом под высоким давлением;
- руководство по переработке и утилизации отходов тоннелестроения;
- руководство по контролю вибрации при ведении буровзрывных работ;
- руководство по восстановлению механизированных ТПМК;
- доклад о современной практике проектирования безопасной пересадки между железной дорогой и метрополитеном, разработанные рабочими группами ИТА.

Международная ассоциация инженеров-консультантов (FIDIC) совместно с ИТА представили «Изумрудную книгу» – новую форму контракта на выполнение подземных работ, учитывающую зависимость подземного строительства от геологических, гидрогеологических и геотехнических условий, которые, в свою очередь, являются определяющими при выборе методов строительства. Кроме этого подземному строительству присущи уникальные контрактные риски в отношении времени и стоимости проходки, вызванные сложностью прогнозирования поведения грунта и условий строительства. Новая форма контракта предлагает:

- распределение строительных рисков между всеми участниками контракта;
- учёт в контракте всей имеющейся геологической и геотехнической информации;
- включение в контракт геотехнической базы;
- учёт «непредвиденных физических условий»;
- внедрение системы классификации грунтовых условий и методов крепления выработок, которые отражают условия проходки и стабилизации массива;

• учёт грунтовых условий в сроках контракта;

- обеспечение гибкого механизма вознаграждения в зависимости от грунтовых условий (как прогнозируемых, так и непредвиденных).

В последний день прошла техническая экскурсия на строящиеся станции метрополитена Неаполя.

Метрополитен Неаполя включает в себя шесть линий метро и четыре линии фуникулера. Участники технической экскурсии посетили пять строящихся станций метро линий 1 и 6 («Capodichino», «Centro Direzionale», «Municipio», «Chiaia» и «San Pasquale»).

Участок «Centro Direzionale - Capodichino» представляет собой расширение линии 1 Неаполитанского метрополитена от центра до аэропорта Неаполя. Проект включает строительство двух станций, спроектированных Бенедеттой Тальябуэ и Ричардом Роджерсом, а также проходку тоннеля с использованием двух ТПМК с активным пригрузом забоя.

На 6-й линии строятся четыре новые станции, соединённые между собой перегонным тоннелем протяженностью около 3,8 км. Дизайн станций был разработан архитекторами: Н. Kollhof (Берлин), Б. Podrecca (Вена), У. Сиола (Неаполь), А. Сиза и Е. Суто де Мора (Порто). На станциях «San Pasquale» и «Chiaia» завершены строительные работы, продолжается архитектурная отделка и монтаж оборудования.

Станция «Municipio», расположенная недалеко от порта Неаполя, является пересадочной между линиями 1 и 6. При её строительстве ведутся крупнейшие археологические раскопки в Европе. Часть археологических находок, сделанных во время строительства, станет частью станции.

*Сборник материалов Международного тоннельного конгресса в электронном виде можно получить в отделе научно-технического сопровождения строительства (e-mail: KonubovDS@mosinzbproekt.ru, Poliankin.AG@mosinzbproekt.ru).*



## КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА»



4 июня 2019 г. в Москве в конференц-зале «Арбат» гостиницы «Holiday Inn Sokolniki» состоялась конференция, посвященная современным технологиям подземного строительства.

Организаторами конференции выступили ООО «Нормет» и Тоннельная ассоциация России (ТАР). Участие в мероприятии приняли международные и отечественные компании: АО «Метрогипротранс», ОАО «Мосинжпроект», Группа компаний «СК Мост», АО «Мосметрострой», ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», ООО «Херренкнехт тоннельсервис», CRCC, УП «Минскметрострой», ОАО «Минскметрострой» и др.

Целью проведения конференции стало рассмотрение различных вопросов в области разработки и внедрения новейших технологий при возведении подземных сооружений в крупных городах.

Главными темами стали:

- современные технологии и опыт строительства тоннелей механизированным способом;
- современные технологии и опыт строительства тоннелей NATM.

Ведущие конференции:

- главный консультант компании «Нормет» – Том Мельби;
- генеральный директор «НИЦ ТА» – В. Е. Меркин;
- заместитель генерального директора АО «Мосметрострой» по маркетингу и внешнеэкономической деятельности – М. Ю. Беленький.

В процессе работы конференции особый интерес участников вызвали следующие вопросы:

- освоение подземного пространства Москвы: планы, результаты, перспективы;
- подземные автостоянки для Москвы как компенсация перегруженного пространства улично-дорожной сети Москвы;
- международный опыт освоения подземного пространства;
- решения ООО «Нормет» для проблемных точек в метростроении;



- освоение подземного пространства Москвы на современном этапе;
- современные тенденции развития тоннелестроения в Европе;
- тоннелепроходческие механизированные комплексы Herrenknecht: виды, функционал, техническое обслуживание;
- фибробетон в тоннельном строительстве;
- напыляемая гидроизоляция нового поколения;
- современные смазочно-уплотнительные материалы и кондиционеры грунтов для тоннелепроходческих работ;
- строительство здания торгово-развлекательного комплекса над станцией метро «Вокзальная» в Минске;
- современные технологии и оборудования для автоматизированного обследования поведения зданий во время проведения тоннелепроходческих работ.

На конференции были заслушаны доклады российских и зарубежных специалистов. Среди выступавших – представители европейских и российских строительных организаций, а также проектных и научно-исследовательских институтов Москвы и стран СНГ.



Конференция вызвала большой интерес среди специалистов, в ней приняли участие больше 50 человек из 26 организаций. Для компании «Нормет» эта конференция была первой, проведенной именно в таком форма-

те, но организаторы и участники приняли решение сделать это мероприятие ежегодным.

Организаторы выставки выразили благодарность Тоннельной ассоциации России за поддержку в ее организации.



## «ВЛАДИМИР БЕССОЛОВ. ИСТОРИЯ ОДНОГО ТОННЕЛЯ»



2019 год ознаменован вехой истории строительства тоннелей БАМа, которая началась 45 лет назад с создания первого подразделения для сооружения тоннелей и строительства поселка тоннельщиков в Нижнеангарске. Еще одна памятная дата 2019 года – 28 мая исполнилось 80 лет со дня рождения знатного строителя тоннелей БАМа, Героя социалистического труда Владимира Аслан-Бековича Бессолова. Его именем назван самый протяженный железнодорожный

тоннель России – Северомуйский тоннель на БАМе.

Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России с февраля по май 2019 г. помогла телеканалу «ВМЕСТЕ-РФ» в организации съемок фильма «Владимир Бессолов. История одного тоннеля».

Благодарим участников интервью, прозвучавших в телефильме, активных членов Тоннельной ассоциации России, которые лично знали В. А.-Б. Бессолова: Кулагина Николая Ивановича, Меркина Валерия Ев-

сеевича, Рубинчика Эдуарда Борисовича, Балакина Алексея Вячеславовича, Панкратенко Александра Никитовича, Мазина Сергея Валерьевича.

Вышедший на телеэкраны фильм можно посмотреть всем заинтересовавшимся нашим коллегам по интернет-ссылке <http://vmeste-rf.tv/programs/214/>.



*А. Б. Лебедьков, руководитель  
Исполнительной дирекции  
Тоннельной ассоциации России*

## КОНКУРС-ТУРНИР ПО ОФИСНОМУ ГОЛЬФУ TAR METRO CUP 2019



13 июня 2019 г. в Москве в зале торжеств «Пантеон» музея-усадьбы Царицыно состоялся первый турнир по мини-гольфу TAR METRO CUP 2019 среди метростроителей.

Организаторами мероприятия выступили Тоннельная ассоциация России (ТАР), Ассоциации гольфа России при поддержке Тура Десяти, АО «Мосметрострой» и ООО «ИБТ». Участие в турнире приняли сотрудники среднего звена компаний «ИБТ» и «Мосметрострой» – всего 60 человек.

Соревнования проходили на девяти гольф-дорожках. Команды были сформированы по корпоративным интересам: каждая представляла собой объединенные отделы, чтобы сотрудники могли не только хорошо, но и с пользой провести время, обменяться опытом.

Турнир длился в течение двух часов, за которые команды сделали два зачетных круга, сыграв 18 лунок. В итоге победу разделили три команды в общем зачете и три самых метких гольфиста – в личном.





**Командный зачет**

**I место – сборная отделов материально-технического обеспечения «Рельсы-штабель»:**

- Беляева Евгения – старший менеджер ЗАО «ТСК»;
- Тарасенко Виталий – инженер отдела МТО ООО «ИБТ»;
- Поликанин Дмитрий – инженер отдела МТО ООО «ИБТ»;

• Касапчук Анастасия – старший менеджер ЗАО «ТСК».

**II место – сборная пресс-службы, лаборатории и отдела снабжения АО «Мосметрострой» «Железный кубик»:**

- Шергина Екатерина – пресс-секретарь АО «Мосметрострой»;
- Ковешникова Галина – начальник строительной лаборатории АО «Мосметрострой»;
- Корж Николай – ведущий инженер АО «Мосметрострой»;
- Кравченко Андрей – старший менеджер ЗАО «ТСК».



**III место – сборная планово-экономического отдела и аппарата генерального директора ООО «ИБТ» и отдела инженерных коммуникаций АО «Мосметрострой» – команда «Эра победителей»:**

- Тощева Татьяна – секретарь генерального директора ООО «ИБТ»;
- Котелевец Анастасия – ведущий экономист ПЭО ООО «ИБТ»;

Тоннели, переходы, километры путей – все это про зарождение креативной темы турнира, инициатором которого стала Тоннельная ассоциация России

- Попов Дмитрий – заместитель начальника отдела АО «Мосметрострой»;
- Федотов Юрий – ведущий инженер АО «Мосметрострой».

**Личный зачет:**

- I место:** Галустьян Аршак – менеджер ЗАО «ТСК»;
- II место:** Касапчук Анастасия – старший менеджер ЗАО «ТСК»;
- III место:** Беляева Евгения – старший менеджер ЗАО «ТСК».

Турнир проводился в рамках трехстороннего соглашения о партнерстве на 2019 г. между Тоннельной ассоциацией России (ТАР), АО «Мосметрострой» и ООО «ИБТ». Несмотря на то, что мероприятие в таком формате было проведено впервые, организаторы и участники приняли решение сделать его ежегодным.





**3-5**

**ОКТАБРЯ**

**2019**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

**ТЕНДЕНЦИИ, ПРОБЛЕМЫ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ  
РАЗВИТИЯ ПОДЗЕМНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА**

Место проведения:  
**Дом отдыха «Покровское»  
Московская область**



[www.rus-tar.ru](http://www.rus-tar.ru)



Мосметрострой



ОРГАНИЗАТОРЫ

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ





**1 сентября 2019 г. лауреату премии Совета Министров СССР, доктору технических наук, профессору, генеральному директору ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» Валерию Евсеевичу Меркину исполнилось 80 лет.**

*Уважаемый Валерий Евсеевич!*

Правление и Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляют Вас со знаменательным юбилеем – 80-летием со дня рождения!

Вами пройден большой трудовой путь, полный ярких и значимых для страны свершений. Вот уже почти 60 лет Вы занимаетесь научными исследованиями, обеспечивающими реализацию крупных проектов строительства подземных сооружений. Результаты этой деятельности

весьма значительны и впечатляют. Они измеряются разработкой и внедрением новых технологий в подземном строительстве, успешным преодолением многочисленных чрезвычайных ситуаций, которые, к сожалению, нередко возникают при сооружении подземных объектов, и, в конечном итоге, реализуются в построенных и введенных в эксплуатацию объектах транспортной инфраструктуры нашей необъятной страны. И Вам есть, чем гордиться – на территории России за последние 50 лет нет практически ни одного сколь-нибудь значимого проекта подземного строительства, который был бы реализован без Вашего участия, без использования Ваших уникальных знаний и опыта. Северомуйский, Байкальский и Мысовые тоннели на Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, проложенные в суровых климатических и горно-геологических условиях, сложнейшие Кутузовская, Гагаринская и Алабяно-Балтийская транспортные развязки, Лефортовский и Серебряноборский тоннели в Москве, строительство и реконструкция транспортных тоннелей на Северном Кавказе, в том числе в районе г. Сочи при подготовке к зимним Олимпийским играм 2014 года – это лишь небольшой перечень проектов, в реализацию которых вложен Ваш труд. В последние годы в Москве Вы играете заметную роль в организации научно-технического сопровождения масштабной программы развития столичного метрополитена.

Ваши научные и инженерные знания по достоинству оценены государством и профессиональным сообществом инженеров-строителей – Вы являетесь лауреатом премии Совета Министров СССР, доктором технических наук. Ваши заслуги отмечены правительственными наградами и почетными званиями.

Вместе с тем, нам хотелось бы отметить и Ваши чисто человеческие качества – внимательное, уважительное и бережное отношение к окружающим Вас людям, смелость и оперативность в принятии важных решений, пунктуальность в исполнении принятых на себя обязательств. Импонирует и Ваше отношение к молодым научным и инженерным кадрам – Вы щедро делитесь с ними своими глубокими знаниями и опытом, воспитываете в них чувство ответственности за результаты своего труда.

Заметна Ваша роль и в работе Тоннельной ассоциации России – Вы стояли у истоков ее организации, лично участвовали в процедуре ее принятия в Международную ассоциацию тоннелестроения и освоения подземного пространства, активно влияете на содержание ее деятельности в части организации работ по нормативно-техническому обеспечению подземного строительства, являетесь членом ее правления.

Свой почтенный юбилей Вы встречаете в полном здравии, хорошем настроении и с неистощимым желанием использовать свои обширные знания и опыт на благо развития отечественного метро- и тоннелестроения.

***Желаем Вам, дорогой Валерий Евсеевич, крепкого здоровья, дальнейших успехов в труде и большого человеческого счастья.***

*Председатель правления  
Тоннельной ассоциации России*

*К. Н. Матвеев*

*Руководитель Исполнительной дирекции  
Тоннельной ассоциации России*

*А. Б. Лебедев*

# «ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ РЕНОВАЦИИ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В МОСКВЕ

## «HIGH-TECH SOLUTIONS» OF UNDERGROUND DEVELOPMENT WHILE RENOVATION OF RESIDENTIAL AREAS IN MOSCOW

Д. С. Конюхов, АО «Мосинжпроект»

D. S. Konuhov, JSK Mosinzhproekt

**Технологии подземного строительства – это одна из важнейших компонент обеспечения безопасности существующих зданий при новом строительстве. Поэтому при массовом освоении подземного пространства в условиях реновации жилой застройки Москвы необходим тщательный подход к выбору технологии работ нулевого цикла, в первую очередь устройства ограждения котлована. Автором выделены основные критерии «высоких технологий» открытого способа работ, проведено их ранжирование по двум группам критериев и выделены классы «высоких технологий» по геотехническим категориям строительства.**

*Technology of underground construction is one of the most important security feature of the existing buildings in new construction. Therefore, when the mass development of underground space in residential renovation Moscow conditions requires a careful approach to choosing technology works zero cycle, primarily excavation fencing device. The author highlights the criteria for «high technology» open method works, held their ranking by two groups of criteria and classes "high technologies" for geotechnical construction category.*

**К**омплексное освоение подземного пространства в условиях реновации городской застройки представляет собой формирование «природно-технической геосистемы» (ПТГС) [4], состоящей из четырех взаимосвязанных элементов:

- 1 – вмещающий массив;
- 2 – технологии, используемые при строительстве подземного сооружения;
- 3 – подземное сооружение;
- 4 – окружающая среда.

Одной из важнейших составляющих системы является второй элемент. Согласно анализу причин аварийных ситуаций при строительстве зданий и сооружений, в 41 % случаев аварийная ситуация становится следствием нарушения технологии строительства [3]. Многообразие факторов, осложняющих строительные работы при реновации районов жилой застройки, требует постоянного совершенствования методов организации строительства, а также использования «высоких технологий», обеспечивающих максимально возможную скорость и минимальную стоимость строительства при минимальном воздействии на ПТГС.

Под «высокими технологиями» в подземном строительстве принято понимать технологические процессы, выполняемые с использованием высокопроизводительного оборудования, адаптируемого к геологическим условиям, и компьютерным управлением, позволяющим более эффективно выполнять всю последовательность включаемых в процесс операций [1]. Прежде всего, это относится к строительству тоннелей в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях с помощью механизированных тоннелепроходческих комплексов (ТПМК) с активным пригрузом забоя.

Можно следующим образом развить представление о «высоких технологиях» подземного строительства применительно к условиям реновации жилой застройки Москвы: «высокие технологии» – это технологические процессы, машины и механизмы, позволяющие максимально безопасно сформировать ПТГС. То есть к «высоким технологиям» можно отнести только те из существующих методов ведения работ и применяемого оборудования, которые обеспечивают максимально возможные механизацию и автоматизацию строительства, качество и безопасность возведения подземных сооружений, сохранность и безопасную эксплуатацию существующей застройки, минимальное влияние строительства на геоэкологическую среду.

В качестве критериев «высоких технологий», с учётом инженерно-геологических и градостроительных условий Москвы и требований к очередности производства работ, можно выделить следующие.

1. Возможность выполнения работ в сложных инженерно-геологических условиях (III уровень сложности согласно [7]) без применения специальных видов работ (замораживание, закрепление грунтов инъекцией и проч.).
2. Производство работ по строительству подземного сооружения или работ «нулевого цикла» в условиях водонасыщенных грунтов без организации строительного водопонижения или применения специальных способов строительства.
3. Высокая скорость возведения конструкций (по сравнению с аналогичными методами).
4. Соответствие готовой конструкции проекту, т. е. отступления от проекта не превы-

шают требований [6] для открытого способа работ и [8] для закрытого.

5. Технологичность, под которой подразумевается:

- максимальная возможная механизация или автоматизация всех технологических процессов;
- удобство выполнения последующих работ (временные конструкции или их элементы, технологическое оборудование и проч. не должны затруднять доступ к месту выполнения работ, в том числе последующих).

6. Низкая стоимость строительства (по сравнению с аналогичными методами).

7. Минимальное воздействие на близкорасположенные здания и сооружения (технологические деформации существующих зданий не превышают 40–60 % от предельно-допустимых величин).

8. Уровень шума и вибрации в процессе производства работ не превышает требований санитарных норм.

9. Отсутствие загрязнений окружающей среды, под которыми подразумеваются не только выбросы в атмосферу или источники воды, но и изливы цементного раствора из скважин, а также растворы бентонитовых глин, которые необходимо собирать и утилизировать, остающиеся в грунте элементы временных конструкций и проч.

Из этих критериев можно выделить первые шесть как обязательные, оказывающие прямое влияние на ПТГС, и с седьмого по девятый как дополнительные, которые необходимо учитывать лишь в определённых условиях.

Рассмотрим, насколько современные технологии подземного строительства отвечают этим критериям. Для решения этой задачи с

Таблица

Классы «высоких технологий» открытого способа подземного строительства

I класс		III класс	
1.	Погружение металлических свай и шпунта:	1.	Погружение металлических свай и шпунта:
1.1.	копром	1.2.	высокочастотным вибропогружателем
2.	«Стена в грунте»	2.	«Стена в грунте»
2.6.	из свай РИТ	2.2.	траншейная, изготавливаемая фрезерным оборудованием
II класс		2.3.	сборно-монолитная с листовой арматурой
1.	Погружение металлических свай и шпунта:	2.4.	сборно-монолитная с предварительным напряжением
1.5.	вдавливанием		с тонкой противодиффузионной завесой, изготавливаемой по технологии jet-grouting
2.	«Стена в грунте»	2.11.	
2.1.	траншейная, изготавливаемая грейфером	3.	Крепление ограждающей конструкции котлована
2.7.	из jet-свай	3.4.	сборными распорными элементами многократного применения
2.8.	из jet-свай с химическими добавками	4.	Полузакрытый способ строительства
2.10.	буромесительным методом	4.1.	Сверху-вниз
3.	Крепление ограждающей конструкции котлована	4.2.	Вверх-вниз
3.3.	постоянными грунтовыми анкерами	4.3.	Снизу-вверх

применением экспертного метода оценки по методике, изложенной в [2], было проведено анкетирование 16-ти независимых экспертов, представляющих три проектных организации, три организации, специализирующиеся на шахтном и подземном строительстве и три – ведущие научно-техническое сопровождение подземного строительства. При обработке данных экспертного анализа принималось, что к категории «высоких» относятся только те технологии, суммарный взвешенный ранг которых не превышает среднего арифметического в группе. Таким образом, на основании экспертного анализа по основным критериям к первой группе «высоких технологий» подземного строительства «способы погружение свай и шпунта» можно отнести:

- погружение копром;
- высокочастотным вибропогружателем;
- вдавливанием.

Ко второй группе «устройство «стены в грунте»:

- траншейная, изготавливаемая грейфером;
- траншейная, изготавливаемая фрезерным оборудованием;
- сборно-монолитная с листовой арматурой;
- сборно-монолитная с предварительным напряжением;
- из свай РИТ;
- из jet-свай;
- из jet-свай с химическими добавками;
- буромесительным методом;
- с тонкой противодиффузионной завесой, изготавливаемой по технологии jet-grouting.

К третьей группе «крепление ограждающих конструкций котлованов»:

- постоянными грунтовыми анкерами;
- сборными распорными элементами многократного применения.

К четвёртой группе «полузакрытый способ строительства»:

- сверху-вниз;
- вверх-вниз;
- снизу-вверх.

Далее была произведена оценка по второй группе критериев, определяющей условия работы в городе, а также их влияние на ППТС. При этом учитывалось, что в разных районах города Москвы условия производства работ существенно различаются. Эти различия, в первую очередь определяются:

- плотностью городской застройки;
- её возрастом и категорией технического состояния;
- близостью строительной площадки к существующим зданиям и сооружениям;
- наличием охранных зон различного назначения;
- воздействием строительства на окружающую среду.

Для формирования комплекса мероприятий по геотехническому сопровождению строительства в условиях плотной городской застройки [5] вводится понятие геотехнической категории строительства – «категория сложности объекта строительства с точки зрения проектирования оснований и фундаментов, определяемой в зависимости от уровня

ответственности и сложности инженерно-геологических условий площадки строительства». Ранжирование «высоких технологий» по второй группе критериев было проведено применительно к геотехническим категориям строительства. То есть приняты следующие классы «высоких технологий»:

I – простой. Строительство сооружений пониженного или нормального уровня ответственности ведётся на свободных от застройки территориях и не оказывает воздействия на геологическую среду;

II – средний. Строительство сооружений нормального уровня ответственности ведётся в условиях городской застройки, оказывает влияние на геологическую среду, однако требования экологической безопасности вторичны по сравнению с экономической эффективностью или безопасностью застройки;

III – сложный. Строительство сооружений нормального и повышенного уровня ответственности, в том числе особо опасных, технически сложных и уникальных ведётся в условиях исторической части города. Застройка плотная. В зоне влияния строительства имеются памятники истории, культуры, архитектуры, здания и сооружения с повышенными требованиями по шуму и вибрации, особо опасные и уникальные здания и сооружения. Воздействия на геологическую среду должны быть сведены к минимуму.

Ранжирование проводилось экспертным методом путём анкетирования той же группы из 16-ти экспертов. При ранжировании мнений экспертов принималась 3-бальная система рангов, соответствующая предложенным классам «высоких технологий». Результаты ранжирования по второй группе критериев сведены в табл.

В условиях реновации жилой застройки Москвы в основном могут применяться технологии II и III классов:

II – при поквартальном принципе застройки, когда устраивается единая подзем-

ная часть под всем микрорайоном, отделенным от близрасположенных зданий и сооружений улично-дорожной сетью;

III – при реновации отдельных зданий или групп зданий, расположенных внутри жилых микрорайонов.

Технологии I класса могут применяться только при строительстве новых микрорайонов на свободной от застройки территории.

### Ключевые слова

Природно-техническая геосистема, ранжирование «высоких технологий», освоение подземного пространства.

*Natural-technical geosystem, ranking of «high technology», development of underground space.*

### Список литературы

1. Абрамчук В. П., Власов С. Н., Мостков В. М. Подземные сооружения. – М.: ТА Инжиниринг, 2005. – 464 с.
2. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Статистика, 1980. – с. 264.
3. Еремин А. К., Мухарицин Е. С. О причинах возникновения рисков аварийного обрушения зданий и сооружений. – Геориск, № 3, 2009. – с. 54–55.
4. Корчак А. В. Методология проектирования строительства подземных сооружений. – М.: «Недра Коммуникайшенс ЛТД», 2001.
5. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений.
6. СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты.
7. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения.
8. СП 120.13330.2012. Метрополитены.

### Для связи с автором

Конюхов Дмитрий Сергеевич  
gidrotehnik@inbox.ru



# АБСОЛЮТНАЯ ТЯГОВАЯ СЕТЬ ЛИНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА С НЕПРЕРЫВНЫМ ПИТАНИЕМ ВАГОНОВ И НИКАК ИНАЧЕ

## ABSOLUTE TRACTION NETWORK OF METRO LINES WITH CONTINUOUS POWER SUPPLY CARS AND NOTHING ELSE

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

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



В статье описано изобретение «Абсолютная тяговая сеть линий метрополитена с непрерывным питанием вагонов» и показано, почему любая другая схема тяговой сети нелегитимна.

*The article describes the invention «Absolute traction network of subway lines with continuous power supply of cars» and shows why any other scheme of traction network is illegitimate.*

**Т**яговая сеть обеспечивает подвод электроэнергии к поездам в любом месте трассы метрополитена; устройства, предназначенные для непосредственной передачи электроэнергии на вагоны, представляют собой протяженные токопроводы, расположенные вдоль электрифицированных путей.

В качестве токопровода положительной полярности используется массивный

стальной контактный рельс (КР), размещаемый сбоку от ходовых рельсов (как правило, слева по ходу движения), по которым движутся электропоезда. КР соединен питающими линиями с шиной «плюс» распределительного устройства (РУ) 825В тяговой подстанции (ТП). В качестве токопровода отрицательной полярности используются ходовые рельсы, которые от-

сасывающими линиями соединены с шиной «минус» ТП.

КР вместе с питающими линиями, аппаратами и другими устройствами, осуществляющими подвод тока к поездам, образуют *контактную сеть*.

Ходовые рельсы вместе с отсасывающими линиями, аппаратами и другими устройствами, обеспечивающими протекание тока по



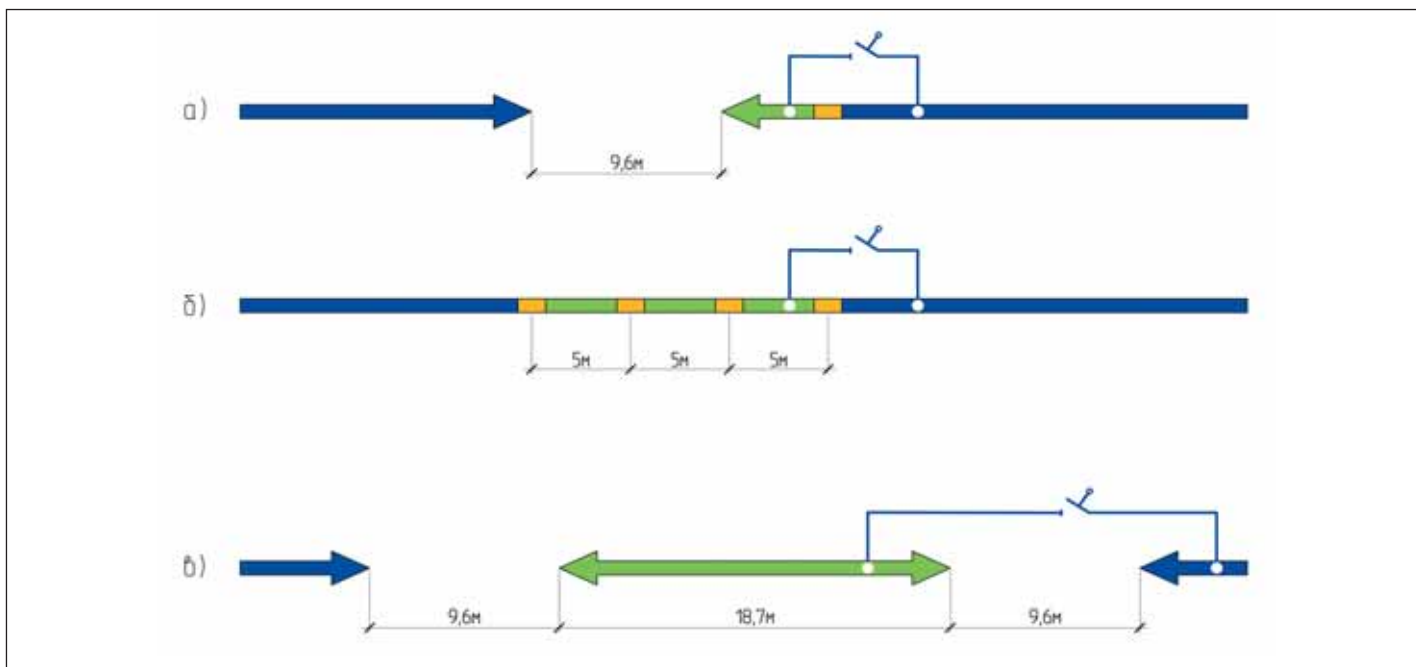


Рис. 1. Варианты активного узла секционирования

рельсам и возврат его на подстанцию, образуют *отсасывающую сеть*.

Контактная и отсасывающая сети составляют *тяговую сеть* метрополитена [4, с. 5].

### Абсолютная тяговая сеть существует

Из того, что КР не рассчитывается [4, с. 152] следует, что *абсолютная тяговая сеть* (т. е. сеть для любых вагонов) существует, если подвести электроэнергию от шины +825В на ТП к КР прямо куском контактного рельса или применить двойные компенсаторы, медные шины сечением 2×120×10 и подводящие кабели 4×500 с изоляцией из сшитого полиэтилена. Просто нужно обеспечить прохождение по питающим линиям длительного тока величиной не менее 5000 А.

Казалось бы, что электрический расчет все еще остается необходимым для нахождения параметров ТП. Анализ результатов расчета мощностей ТП на линиях с децентрализованным питанием показывает, что реально только два варианта:

- вариант № 1 – 4 агрегата (трансформатор + выпрямитель) с номинальным выходным током 1600 А;
- вариант № 2 – 4 агрегата с номинальным выходным током 2500 А для самых тяжелых случаев со сверхдлинными перегонами (>2,5 км).

И тут внезапно повезло. Стоимость одного агрегата 1600 А на ТПП-927 станции Верхние Лихоборы (вариант № 1) составила 6163 тыс. р., а стоимость одного агрегата 2500 А на ТПП-202 станции Ховрино (вариант № 2) – 5471 тыс. р. Габариты и веса агрегатов отличаются незначительно. Учитывая, что вариант № 1 самый массовый, следует на всех ТПП применять вариант № 2, экономия на каждой такой ТПП составит 2768 тыс. р. Таким образом получается *абсолютная* (по мощности) ТПП с номинальным выходным

током 7500 А, четвертый агрегат по условию резервирования N+1.

### Место секционирования

В месте секционирования неперекрываемыми ВПКР питание вагона кратковременно прерывается. Поэтому выбор определен местами, где поезд, как правило, идет на выбеге или торможении (с выключенными двигателями). Такое положение было вполне удовлетворительно (неправильно, но терпимо), когда прерывание питания затрагивало только освещение вагона (1,9 кВт) и стало неприемлемо (по-прежнему неправильно, но уже нетерпимо и даже опасно) с появлением кондиционеров (>60 кВт) и других нетяговых потребителей на вагоне. Искрение и дугообразование при прерывании питания на отдающем отводе становится непреодолимой проблемой. Императив нахождения места, где поезд всегда идет на выбеге просто недостижим, да и бесполезен для нетяговых потребителей.

Секционирование контактной сети с использованием неперекрываемых воздушных промежутков контактного рельса (ВПКР) (≥14 м) было вынужденной мерой и ошибочным решением. Правильное решение было изобретено в МГТ в 1991 г. [1], но не применялось.

Получилось, что возможную опасность для обслуживающего персонала обменяли на постоянную опасность (безбожно искрит и образуется мощнейшая электрическая дуга на 72 ампера!) для пассажиров вагона.

В настоящее время зарегистрировано несколько патентов [2], которые развивают незаслуженно забытое изобретение.

Активный узел секционирования (рис. 1), где неперекрываемый ВПКР заменен нейтральными вставками (зеленый цвет) КР с изолирующими стыками (желтый цвет), а) и б), а также просто комбинацией двух пере-

крываемых ВПКР, в) из [1] – позволяет обеспечить непрерывность питания вагона, т. к. прерывания питания нет вовсе.

По сути удалось ослабить требование: «при движении поезда не замыкать через токоприемники вагона разделенные секции», [5, с. 32] следующим «при движении поезда не замыкать через токоприемники вагона разделенные секции при отключении одной из них», т. к. при включенных смежных секциях они всегда замкнуты через шину +825В на тяговой подстанции.

### Предлагаю:

- на новых линиях применять активный узел секционирования (АУС);
- на действующих линиях с вагонами, оборудованными кондиционерами, срочно заменить неперекрываемые ВПКР на АУС.

### Ключевые слова

Тяговая сеть, контактный рельс, тяговая подстанция.

*Hauling network, contact rail, traction substation.*

### Список литературы

1. Тяговая сеть линий метрополитена, патент №1771451, 1991.
2. Абсолютная тяговая сеть линий метрополитена с непрерывным питанием вагонов, патент №2679351, 2017.
3. Куровский А. Б. Применение активного узла секционирования для схемы питания контактной сети метрополитена // Метро и тоннели. – № 3–4. – 2017. С. 8–9.
4. Тяговые сети метрополитенов, Е. И. Быков, Б. В. Панин, В. Н. Путьнин, Москва, 1987.
5. Электроснабжение метрополитенов, под ред. Е. И. Быкова, Москва, 1977.

### Для связи с автором

Куровский Александр Борисович  
a.kurovsky@mospp.ru



# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕРВОГО УЧАСТКА ТРЕТЬЕЙ ЛИНИИ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

## DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE THIRD LINE FIRST SECTION FOR THE MINSK SUBWAY. DESIGN SOLUTIONS FEATURES

П. Н. Непочелович, ОАО «Минскметропроект»

P. N. Nepochelovich, JSC «Minskmetroprojekt»



Рис. 1

Строительство первого участка третьей линии протяженностью 7,72 км позволит обеспечить скоростной транспортной связью с другими районами города жилой район, а также деловой район «Минск–Сити» на территории аэропорта Минск–1. При этом в центре города будет создан транспортно-пересадочный треугольник. Ответом на сложные инженерно-геологические и градостроительные условия стали соответствующие инженерные решения по конструкциям и способам строительства третьей линии.

*Construction of the first section of the third line length 7,72 km will ensure high-speed transport links with other areas of the city residential area, as well as the business district of «Minsk-city» on the territory of Minsk-1 airport. While in the city Centre will create a freight interchange triangle. Response to the complex engineering-geological and planning conditions have become relevant engineering solutions on construction methods and constructs the third line.*

Схема развития Минского метрополитена состоит из четырех линий общей протяженностью 77 км с 58 станциями (рис. 1). Строительство метрополитена в г. Минске ведется с 1977 г. В настоящее время построены

и действуют две линии метрополитена общей протяженностью 38,5 км с 29 станциями:

- линия «А» – первая линия от станции «Малиновка» до станции «Уручье» протяженностью 19,2 км с 15 станциями;

- линия «Б» – вторая линия от станции «Могилевская» до станции «Каменная Горка» протяженностью 19,3 км с 14 станциями.

Участки линий метрополитена в г. Минске вводились в эксплуатацию в 1984,

1986, 1990, 1994, 1997, 2001, 2005, 2007, 2012, 2014 гг.

В 2014 г. Минскому метрополитену исполнилось 30 лет, а пуск был «юбилейный» – десятый. Средний темп строительства метрополитена в Минске составил 1 км/год.

Линия «В» – третья линия Минского метрополитена. Ее протяженность составит 19 км, на ней будет расположено 14 станций. Линия соединит южный и северный секторы Минска с центральной частью города.

Строительство первого участка линии «В» от станции «Корженевского» до станции «Юбилейная» протяженностью 7,72 км позволит обеспечить скоростной транспортной связью с другими районами города жилой район «Курасовщина», а также деловой район «Минск-Сити», который будет размещаться на территории аэропорта Минск-1. При этом в центре города будет создан транспортно-пересадочный треугольник с вершинами в узлах на станциях «Октябрьская» – «Купаловская», «Площадь Ленина» – «Вокзальная» и «Фрунзенская» – «Юбилейная». Линия рассчитана на обращение 40 пар пятивагонных поездов в час пик.

В настоящее время ведутся работы по проектированию и строительству первого участка третьей линии метрополитена, где предусмотрено строительство семи станций, две из которых пересадочные. Переса-



Рис. 2

дочные узлы предусмотрены между станциями «Фрунзенская» – «Юбилейная Площадь» (рис. 2) и «Площадь Ленина» – «Вокзальная» (рис. 3).

Приоритеты технической политики при разработке проекта – повышение комфортности передвижения пассажиров, высокий уровень автоматизации, технической безопасности и энергоэффективности при эксплуатации.

Более комфортные условия для передвижения пассажиров создаются путем механизации передвижения пассажиров на эскалаторах, в лифтах, пассажирских конвейерах.

Для ускорения перехода пассажиров между станциями с одной линии на другую, в пересадочных узлах запроектированы пешеходные конвейеры – «траволаторы» (рис. 5). Это решение впервые предусмотрено на Минском метрополитене.

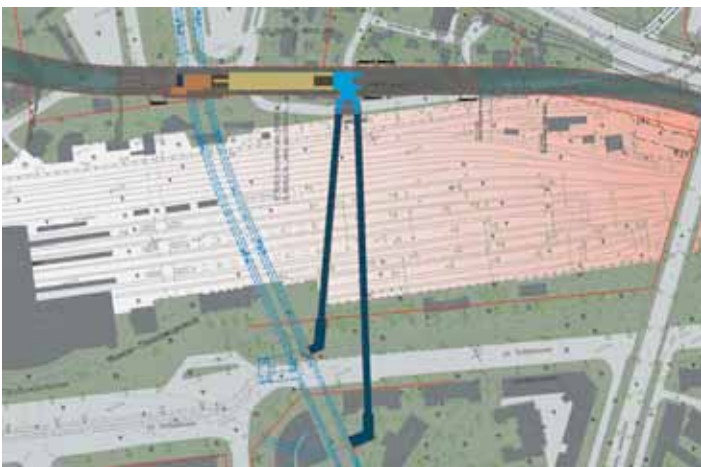


Рис. 3

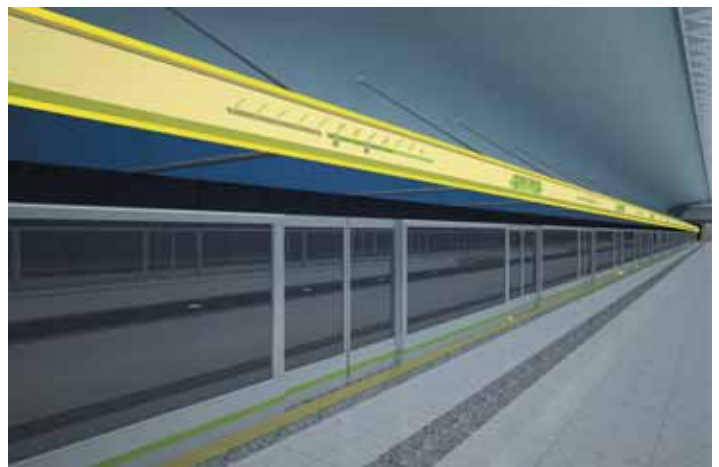


Рис. 4

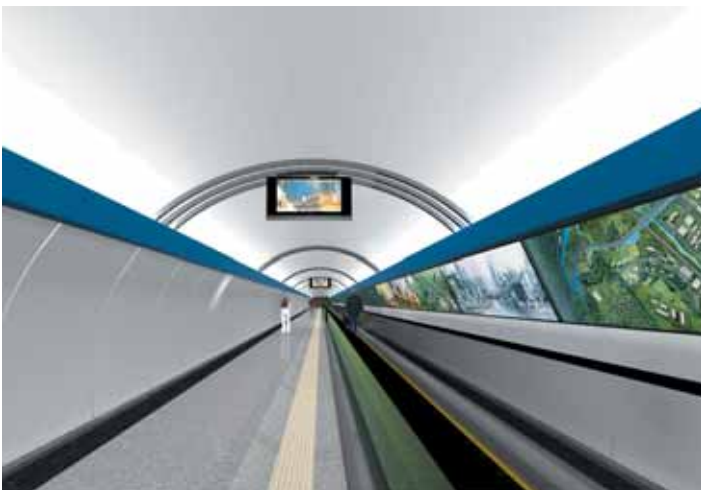
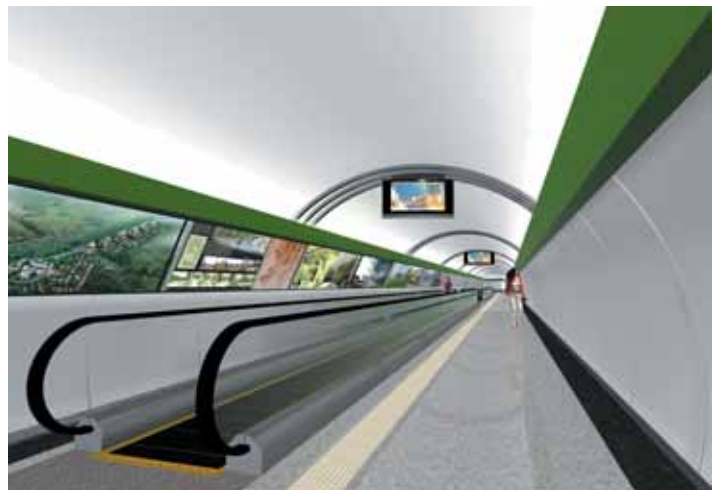


Рис. 5



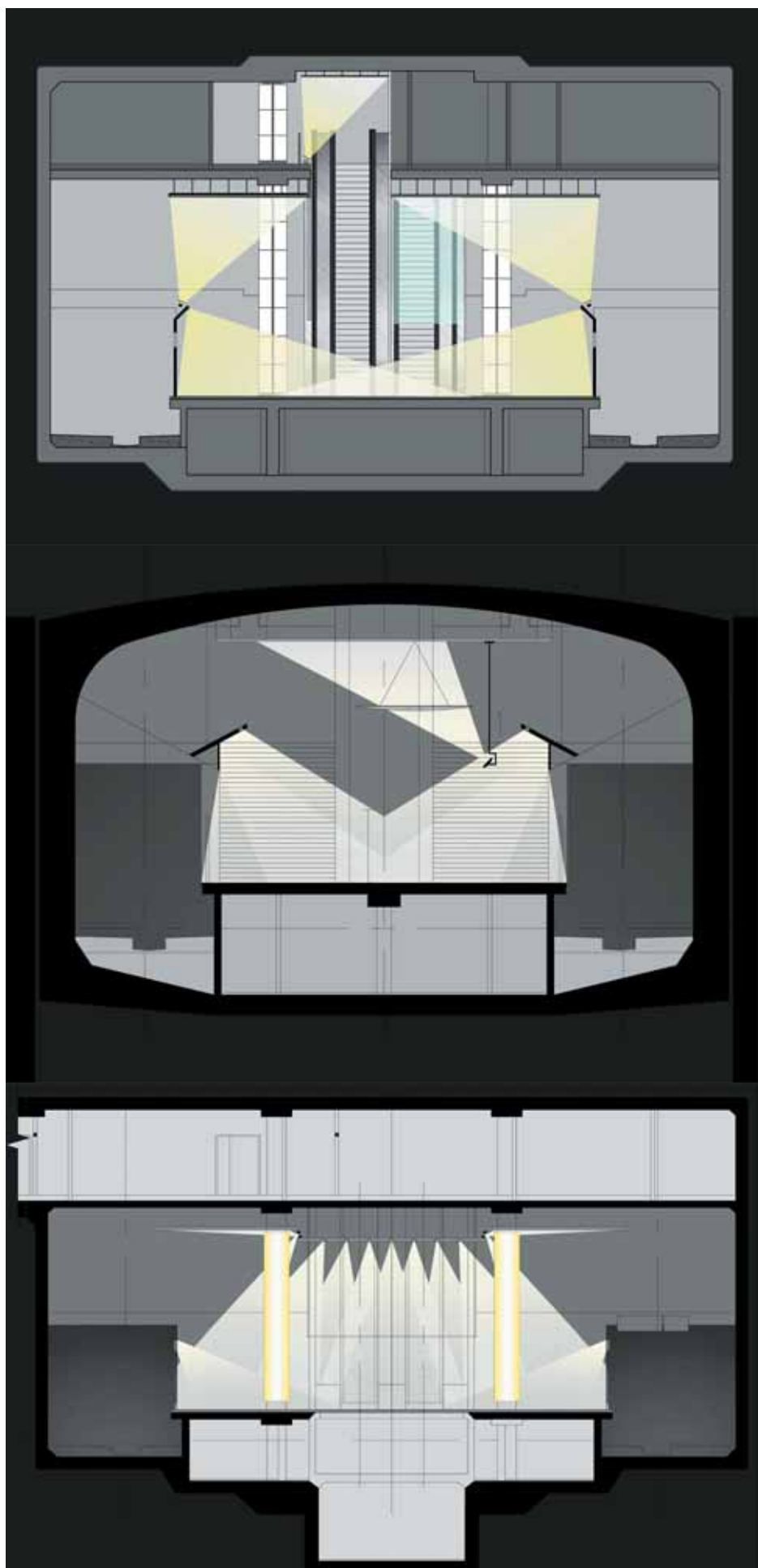


Рис. 6

По краю платформ всех станций также впервые предусмотрена установка барьерного ограждения (рис. 4) из закаленного стекла, препятствующего случайному или намеренному попаданию пассажиров на пути поездов. Высота барьеров – 1,6 м. Над барьерами безопасности на высоте 2,1 м разместят информационные световые конструкции, которые будут являться дополнительными источниками освещения, а также местом всей необходимой информации для пассажиров.

На третьей линии предусмотрена автоматизация технологических процессов обслуживания пассажиров и эксплуатации инженерных систем метрополитена:

- управления движением поездов;
- оплаты проезда;
- управления дверями платформенных барьеров;
- управления технологическими процессами и работой инженерного оборудования;
- системы учета электроэнергии.

Отличительной особенностью проектных решений является более высокий уровень автоматизации управления движением поездов на основе применения микропроцессорной техники, позволяющий осуществлять движение в режиме автоведения. Разработан также проект автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ) инженерными системами и основными технологическими процессами на базе микропроцессорной техники, что ведет к снижению доли участия человека в тестировании, мониторинге и эксплуатации этих систем.

Еще одной особенностью проекта является предложенный разработчиками полный отказ на новых станциях от внешнего потребления тепловой энергии для отопления станций. Предусмотрено совершенствование системы автономного теплоснабжения с применением тепловых насосов, которые используют низкопотенциальное тепло, выделяемое пассажирами, оборудованием и поездами.

Станционные комплексы оборудуются современными системами обнаружения пожара, оповещения о возникновении чрезвычайных ситуаций, автоматизированными установками пожаротушения и дымоудаления, системами связи, информационными системами.

Создание условий безопасности для пассажиров при воздействии внешних угроз, террористических актов, различного проявления агрессии людей предусмотрено путем оборудования станций системой видеонаблюдения, позволяющей службам метрополитена и МВД видеть реальную ситуацию в большом скоплении людей. Для оперативного обеспечения и контроля общественной безопасности проектом предусматривается создание ситуационного центра в инженерном корпусе метрополитена.

Для управления линией и поддержания высокого уровня безопасности про-

ектируется расширение существующего инженерного корпуса с размещением в нем ситуационного центра. Кроме расширения инженерного корпуса планируется строительство наземного здания эксплуатационного персонала и электродепо для всей линии.

Концепция решений по архитектурным интерьерам пешеходных зон станций основана на следующих принципах:

- архитектурным приоритетом является объемно-планировочное решение станционного комплекса, отвечающее всем требованиям по обеспечению безопасности передвижения пассажиров, конструктивной безопасности и условиям вписывания станции в городскую среду;

- использование национальных мотивов в интерьерах с привязкой к городским территориям, на которых расположены станции;

- минимизация отделочных работ с мокрыми процессами с заменой на «сухие», монтажные технологии отделки (панели из нержавеющей стали и стекла, подвесные потолки из негорючих материалов, системы облицовки естественным и искусственным камнем по технологии «вентилируемый фасад»);

- применение отделочных материалов, производимых преимущественно в Республике Беларусь и странах Таможенного союза;
- уменьшение площадей в пассажирских зонах, подлежащих декоративной отделке.

Так, для отделки путевых стен и низа перекрытий на участке платформы над путями, как правило, предусматривается окраска по бетону без всякой подготовки.

Такой подход позволит получить недорогую, выразительную отделку станций, удобную в эксплуатации.

Еще одним элементом дизайна пассажирских зон станет создание энергоэффективной системы архитектурного электроосвещения, как рабочего (повседневного), так и праздничного (рис. 6).

Участок будет оборудован современной бесшпальной конструкцией верхнего строения пути, основными свойствами которой будет эксплуатационная надежность, снижение уровня шума и вибрации.

Проектом установлены повышенные технические требования к подвижному составу. Это должны быть вагоны нового поколения с системами автоматизированного управления, менее шумные и более комфортные, а также экономичные в эксплуатации. В настоящее время ведется разработка проекта новых вагонов для их производства в Белоруссии.

Ответом на сложные инженерно-геологические и градостроительные условия стали соответствующие инженерные решения по конструкциям и способам строительства третьей линии. На этом непростом участке применен широкий набор технических приемов строительства:

- проходка тоннелей механизированными щитами с грунтопригрузом забоя;



Рис. 7



Рис. 8

- технология «стена в грунте» при проходке сооружений в непосредственной близости от зданий, инженерных сетей и проезжей части улиц;

- технология Джет-граудинг;
- применение железобетонных тоннельных обделок повышенной водонепроницаемости на участках высокого уровня грунтовых вод;

- конструкции тоннельных и станционных обделок с противодеформационными мероприятиями;

- специальные способы строительства – водопонижение на протяженном участке, улучшение грунтового основания тоннелей открытого способа работ путем замены грунтов на песчаную подушку;

- широкое применение разнообразных способов крепления котлованов – свайное, анкерное, из буронабивных свай;

- оптимальное сочетание сборного и монолитного железобетона.

Прогрессивные технические решения, апробированные на первом участке третьей линии Минского метрополитена, и накопленный опыт найдут применение при проектировании новых объектов. Это второй участок линии «В» и линии «Г» Минского метрополитена.

#### Ключевые слова

Проектирование линии метро, технические приемы строительства, автономное теплоснабжение.

*Subway line design, construction techniques, autonomous heating.*

#### Для связи с автором

Непочелович Павел Николаевич  
Nepochelovich@metro.pr.by



# НАДЕЖНОСТЬ ТОННЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕВЕРОМУЙСКОГО ТОННЕЛЯ

М. О. Лебедев, Ю. С. Исаев, А. Д. Басов, О. В. Бойко, К. В. Романевич, Р. И. Ларионов, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»  
В. Г. Трунев, ООО НИЦ «Бамтоннель»

По инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям строительства Северомуйский тоннель является одним из наиболее сложных в мире – его строительство велось почти 30 лет. Начиная с 1978 г. обделка тоннеля оснащалась датчиками, фиксирующими местные суммарные деформации конструкций от горного давления, гидростатики и температурных воздействий. Наличие замерных станций сыграло большую роль при выборе рациональных конструкций крепей и обделок, а также при разработке технологий их возведения. В первые годы эксплуатации (2004–2005 гг.) на основе этих датчиков, а также сети станций сейсмомониторинга и контроля ЕИЭМПЗ была создана система геодинамической безопасности тоннеля в составе АСУ ТП, однако финансирование проекта было закончено еще до проведения пуско-наладочных работ.

В 2016 г. было проведено обследование дренажной и водоотводной систем основного тоннеля и транспортно-дренажной штольни и выявлен ряд существенных дефектов. В 2017 г. осуществлена ревизия всех замерных станций, в том числе выполнены измерения (в ручном режиме) по датчикам контроля напряженно-деформированного состояния, установленным внутри обделок. Кратко рассмотрены результаты этих работ.

С учетом сложных гидрогеологических условий, в которых построен Северомуйский тоннель, при наличии автоматизированной системы контроля НДС обделки при помощи датчиков, размещенных внутри конструкций, можно было бы ответить на ряд вопросов, связанных с эффективностью работы дренажной системы и ее влияния на НДС обделки.

Система геотехнического мониторинга (ГТМ) на всех стадиях строительства и эксплуатации транспортных тоннелей представляется совершенно необходимым элементом предупреждения аварий, прогноза технического состояния конструкций и безопасной эксплуатации.

Действующий Северомуйский тоннель (СМТ) в однопутном исполнении с параллельной транспортно-разведочно-дренажной штольной (ТРДШ) был сдан в эксплуатацию в 2004 г. Его строительство велось почти 30 лет, что было связано с необычно сложными природными условиями, недостаточной изученностью трассы тоннеля на стадии изысканий, отсутствием опыта проектирования и строительства тоннелей в сложных горно-геологических условиях. Сложность природных условий была обусловлена тем, что СМТ располагался в сейсмичной Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) с вероятным проявлением землетрясений интенсивностью более 9 баллов. Высокая сейсмическая активность территории связана с неотектоникой, развитием новейших тектонических структур [1].

По инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям строительства Северомуйский тоннель длиной 15,3 км и глубиной заложения в Гольцовой части до 1 км является одним из наиболее сложных в мире. Блоково-разрывное строение Муякан-Анггараканского междуречья явилось характерной особенностью геологии СМТ. Вдоль трассы тоннеля при уточнении геологических условий проходки в ходе строительства были выделены структурные блоки, местоположение которых указано в табл. 1.

Местоположение структурных блоков

Таблица 1

Тектонические блоки III порядка	Привязка	
	пикеты по поверхности	пикеты по тоннелю
Западный	65+56 ÷ 18+50	65+56 ÷ 18+00
IV тектоническая зона	18+50 ÷ 07+10	18+00 ÷ 08+10
Гольцовый блок	07+10 <sub>зап</sub> ÷ 26+80 <sub>вост</sub>	08+60 <sub>зап</sub> ÷ 26+45 <sub>вост</sub>
Троговая тектоническая зона	26+80 ÷ 29+60	26+45 ÷ 31+47
Промежуточный тектонический блок	29+60 ÷ 38+10	31+47 ÷ 39+70
III тектоническая зона	38+10 ÷ 47+70	39+70 ÷ 45+80
Восточный блок В и его тектонические блоки IV порядка:	47+70 ÷ 89+03	45+80 ÷ 89+03
В <sub>1</sub>		45+80 ÷ 53+50
В <sub>2</sub>		53+50 ÷ 70+00
В <sub>3</sub>		70+00 ÷ 81+10
В <sub>4</sub>		за пределами тоннеля

Горные породы СМТ представлены гранитами, которые в тектонических зонах в разной степени разрушены до состояния песка и глины. Устойчивость гранитов в забоях подземных выработок зависит от их прочностных свойств, трещиноватости и водонасыщенности. Раскрытие трещин и их водонасыщенность определяют напряженным состоянием и его видом: если преобладает напряжение растяжения, то раскрытие и водопроницаемость горных пород выше, а

преобладание напряжений сжатия способствует закрытию трещин и уменьшению водопроницаемости и водообильности горных пород. Общая протяженность разломных зон по трассе тоннеля и штольни составила около 1/3 его длины.

При строительстве тоннеля были смонтированы замерные станции, оснащенные датчиками (рис. 1), фиксирующими местные суммарные деформации конструкций от горного давления, гидростатики и темпера-

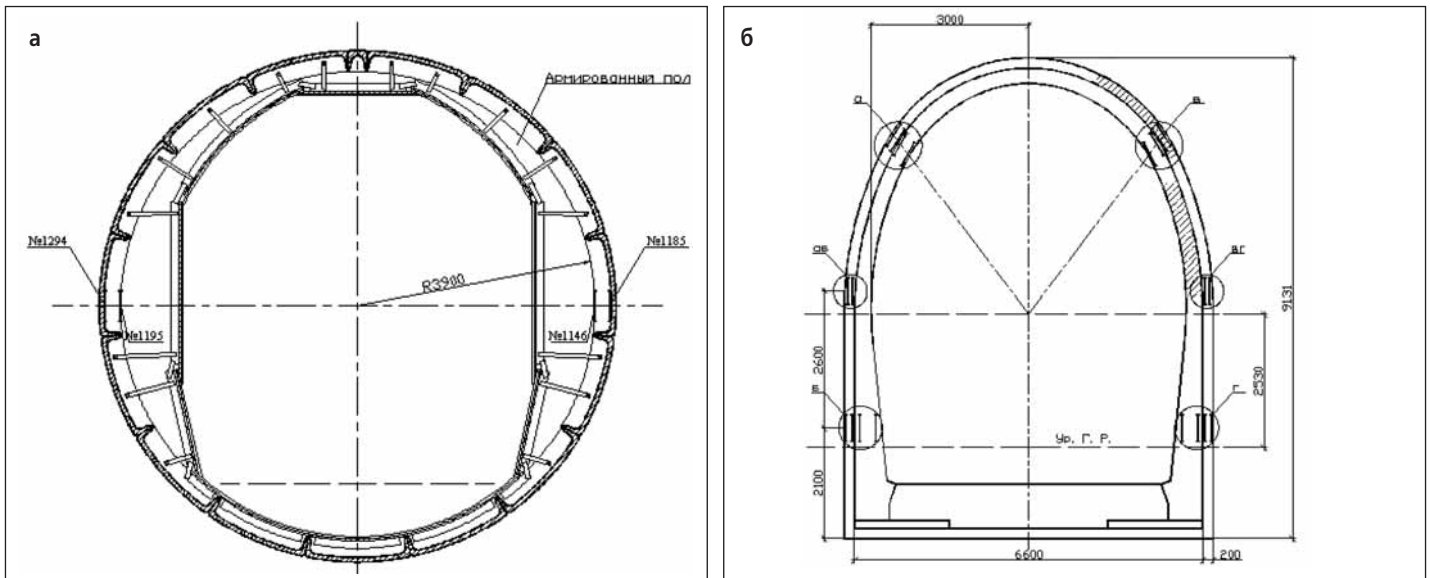


Рис. 1. Характерный вид замерных станций, оснащенных датчиками: а – чугунная тьюбинговая обделка (с датчиками на горизонтальном диаметре) с облоймой усиления в зоне ангараканской депрессии Западного тектонического блока; б – временная арко-бетонная крепь и постоянная обделка из монолитного железобетона в IV тектонической зоне

турных воздействий. По измеренным местным деформациям вычисляются суммарные напряжения от всех воздействий.

Система замерных станций по трассе тоннеля предназначена для измерения, регистрации и оперативного анализа напряженно-деформированного состояния конструкций крепи и обделки Северомуйского тоннеля на воздействие горного и гидростатического давлений с учетом температурных напряжений, а также вычислением напряжений в обделках тоннеля от горного давления и сравнение результата с запасом несущей способности.

Получаемые данные служили основой оперативного контроля напряженно-деформированного состояния Северомуйского тоннеля, находящегося под воздействием горного и гидростатического давлений, а также сейсмоявлений, своевременного вмешательства в конструктивные изменения обделок.

Замерные станции на Северомуйском тоннеле были смонтированы, начиная с 1978 г., в различных горно-геологических условиях и предназначались для определения проявления горного и гидростатического давления, сил температурного и сейсмического воздействия на обделки основного тоннеля и транспортно-разведочно-дренажной штольни (ТРДШ).

Наличие таких замерных станций оказало большую роль в выборе рациональных конструкций крепи и обделки, а также в технологии их сооружения [2, 3].

Учитывая высокую сейсмическую активность района строительства СМТ, особое внимание при строительстве и эксплуатации тоннеля уделялось проявлениям напряженно-деформированного состояния в виде остаточных деформаций, которые были зарегистрированы при долговременных наблюдениях на замерных станциях и расчетов соответствующих напряжений [4, 5]. По

состоянию на 1989 г. на СМТ в работе находилось 18 замерных станций с датчиками деформометрами ПЛДС-400.

На рис. 2 приведены результаты измерений деформаций на замерной станции № 12. Видно, что два датчика среагировали активно в июне 1988 г. на землетрясение с  $K = 13$  с эпицентром, расположенным примерно в 40 км от этой замерной станции. Также отмечены скачки деформаций, которые можно связать с землетрясениями 1986 г. – одним в апреле и двумя парами землетрясений в мае и июле с  $K = 11$ . Максимальные остаточные деформации составили  $-2 \cdot 10^{-4}$ .

Для обеспечения безопасной эксплуатации Северомуйского тоннеля при его строительстве и первых годах эксплуатации создавалась система геодинамической безопасности (геотехнический мониторинг – ГТМ) тоннеля в составе АСУ ТП. В данную систему входили автоматизированные системы сейсмомониторинга и контроля напряженно-деформированного состояния вмещающего массива методом естественных импульсов электрома-

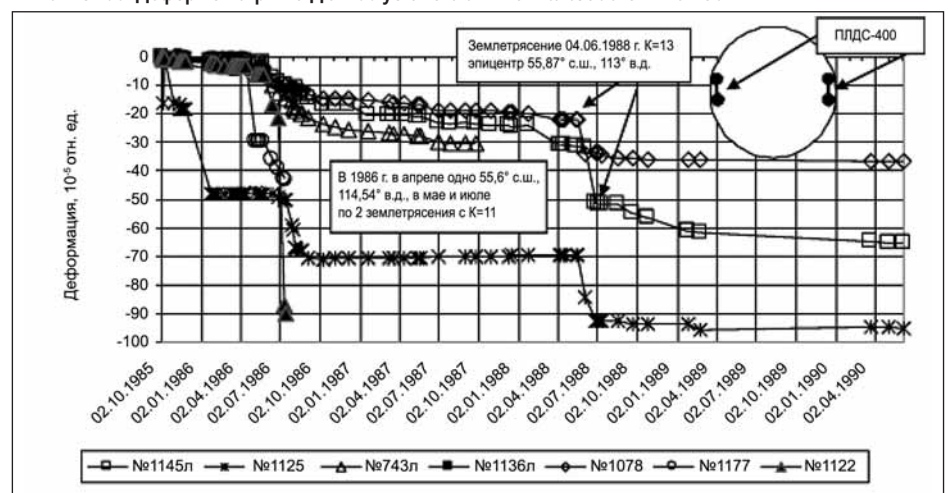
гнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Большая часть этого проекта была реализована – в тоннеле установлены датчики, размещено оборудование (рис. 3), выполняющее измерения по датчикам, проложены кабельные линии для передачи информации в помещение АСУ ТП, расположенном на Восточном портале. Оставалось выполнить только пуско-наладочные работы. К сожалению, финансирование работ на этом было закончено.

На этом фоне контрастно выделяется система геодинамической безопасности (геотехнического мониторинга), реализованная при строительстве «Олимпийских» тоннелей на совмещенной дороге «Адлер – Альпика-Сервис».

Геотехнический мониторинг в составе АСУ ТП эксплуатации транспортных тоннелей на участке «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» [4] состоит из следующего:

- контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) обделок;
- оценки устойчивости системы «обделка – вмещающий массив» методом ЕЭМИ;

Рис. 2. Результаты долговременных измерений деформаций на замерной станции № 12 ТРДШ пикет 45+80. Деформометры ПЛДС-400 установлены на железобетонные тьюбинги



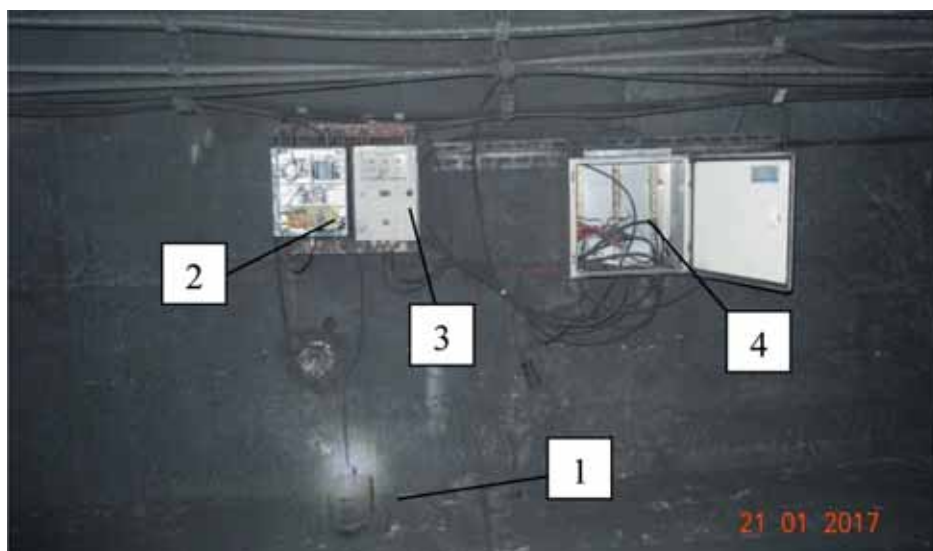


Рис. 3. Размещение оборудования системы геодинамической безопасности в тоннеле: 1 – трехкомпонентный сейсмодатчик; 2 – блок обработки сейсмомониторинга; 3 – блок обработки ЕИЭМПЗ; 4 – коммутационный шкаф

• контроля состояния системы «обделка – вмещающий массив» по данным регистрации сейсмических колебаний с помощью сети сейсмостанций (сейсмомониторинг).

Информация с контрольно-измерительной аппаратуры девяти тоннелей в режиме реального времени поступает на серверы мониторинга в здание диспетчерской по автомобильной дороге и в здание диспетчерской по железной дороге. После обработки поступающих данных информация визуализируется на отдельном АРМе, расположенном на столе перед диспетчером, осуществляющим контроль всех автоматизированных систем безопасной эксплуатации тоннелей.

Во время эксплуатации Северомуйского тоннеля за техническим состоянием тоннельной обделки, водопроявлениями, водопритоками и гидростатическим давлением воды на обделку ведет Тоннелеобследовательская станция Восточно-Сибирской железной дороги (ТОС ВСЖД). В декабре 2016 г. было проведено обследование дренажной и водоотводной систем тоннеля и дренажных коллекторов по теме «Реконструкция верхнего строения пути (ВСП) и дренажно-транспортной штольни

Северомуйского тоннеля» силами ООО НИЦ «Бамтоннель».

При обследовании обделки тоннеля зафиксированы следующие дефекты:

- водопроявления различной интенсивности, в том числе течи, капёж, сырость;
- высолы;
- трещины разной направленности, в том числе продольные, косые, поперечные;
- отслоение штукатурки на отдельных участках обделки и у деформационных швов.

Обнаруженные в результате обследования дефекты в виде водопроявлений и высолов указывают на недостаточную эффективность работы дренажной системы тоннеля на этих участках. В обделке тоннеля присутствует большое количество участков с сыростью и капезом, в штольне на аналогичных участках, как правило, действуют течи из скважин, за исключением некоторых участков, на которых отсутствуют водопроявления.

Дренажная штольня функционирует не в полном объёме, так как помимо участков, на которых обводнена штольня и не обводнён тоннель, есть участки, на которых обводнены и тоннель и штольня, а также отмечены несколько участков, на которых имеется сы-

рость и капёж в тоннеле, но при этом нет водопритоков в штольню.

Камеры заобделочного дренажа не решают вопрос осушения тоннеля в полной мере, т. к. вблизи многих КЗД имеются водопроявления на поверхности обделки тоннеля. Причиной слабой эффективности работы КЗД может быть сниженная со временем захватывающая способность дренажных скважин, а также малое их количество. Установлено, что из 48-ми камер заобделочного дренажа только 5 можно признать работающими, остальные – практически сухие и не выполняют водозахватные функции.

При обследовании обделки тоннеля зафиксировано множество водопроявлений в виде течей по швам и трещинам обделки, капелей, мокрых пятен, указывающих на то, что несмотря на значительные водопритоки в ТРДШ эффективное осушение тоннельной обделки не обеспечивается.

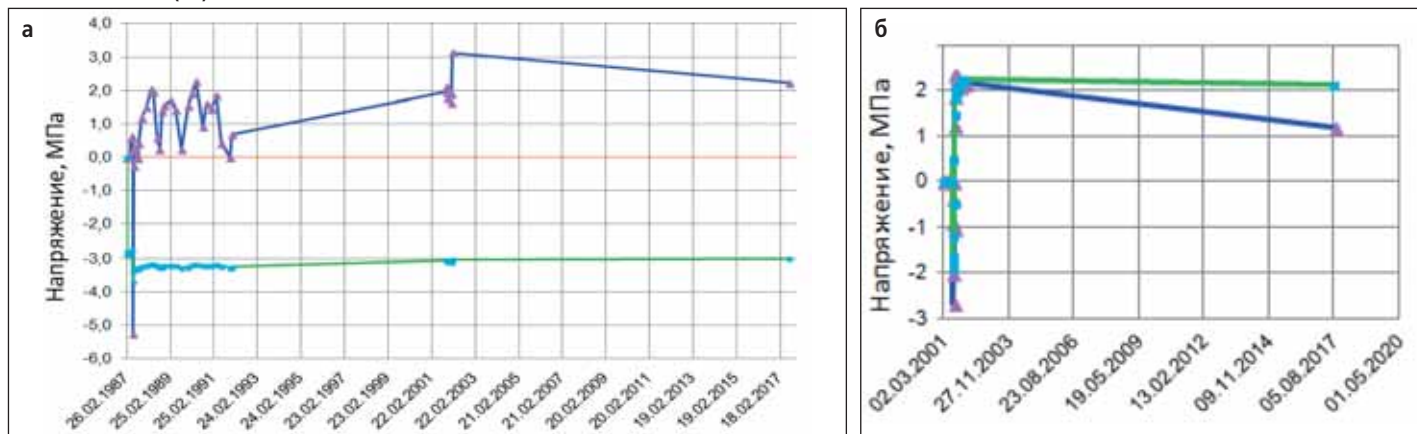
А что же при этом происходит с напряженным состоянием самих обделок? В 2017 г. при ревизии всех замерных станций по трассе тоннеля были выполнены измерения по датчикам, установленным внутри обделок. На рис. 4 показаны кривые изменения напряженного состояния обделки во времени.

На всех замерных станциях по отдельным датчикам отмечены незначительные изменения напряженного состояния, как в сторону уменьшения напряжений, так и в сторону их увеличения. Но при этом в среднем напряженное состояние обделок остается стабильным.

Является ли такая информация достоверной? Безусловно, да. Струнные датчики (тензометры) установлены во многих искусственных сооружениях, в том числе транспортных тоннелях, гидротехнических сооружениях, подземных сооружениях сложных геометрических форм большого поперечного сечения. И в течение десятилетий являются основным источником для получения информации о техническом состоянии сооружений. Но только в статической работе сооружений.

А что же с динамической работой обделок тоннеля? Для этого используется аппа-

Рис. 4. Кривые изменения напряженного состояния обделки тоннеля: а – в зоне ангараканской депрессии; б – напряжения в монолитной железобетонной обделке на ПК 15+65 (ВП)





ратура системы сейсмомониторинга, которая обеспечивает непрерывную регистрацию сейсмических колебаний и вычисление по заданным критериям динамических воздействий от сейсмических процессов в обделке тоннеля и во вмещающем массиве горных пород с последующим суммированием с показаниями датчиков контроля НДС обделок.

Как показала практика эксплуатации системы автоматизированного мониторинга «Олимпийских» тоннелей, с определенными формами динамических нагрузок, которые не являются одномоментными, справляется система контроля НДС обделок. Так, например, на одном железнодорожном тоннеле было зафиксировано пять событий, связанных с проливными дождями (18.09.2014, 25.06.2015, 04.06.2016, 29–30.08.2017, 25.10.2018), рис. 5.

В это время происходит мгновенное увеличение напряженно-деформированного состояния обделки за счет роста гидростатического давления. Нормальные тангенциальные напряжения в обделке получают двукратное приращение по отношению к величинам напряжений, действующим до этого. Но сразу после прекращения дождя напряженное состояние обделки возвращается к первоначальному состоянию. Так, например, обильные атмосферные осадки 25.10.2018 г. привели к росту гидростатического давления, которое сохранялось в течение 10 часов (с 5:00 до 14:00), максимальное увеличение сжимающих нормальных тангенциальных напряжений составило 0,7 МПа. Быстрому росту гидростатического давления способствует трещиноватость массива, представленного серыми известняками, склонного к карстообразованию.

С учетом сложных гидрогеологических условий, в которых построен Северомуйский тоннель, при наличии автоматизированной системы контроля НДС обделки при помощи датчиков, размещенных внутри конструкций, можно было бы ответить на ряд вопросов, связанных с эффективностью работы дренажной системы и ее влияния на НДС обделки.

При строительстве Северомуйского тоннеля произошло большое количество аварийных ситуаций с выносом в тоннель и штольно водогрунтовой массы объемом до 6500 м<sup>3</sup>, разрушением крепей и обделок, потерей проходческого оборудования и человеческими жертвами. Происходящие в таких случаях разуплотнения окружающего массива впоследствии могут влиять на изменение напряженного состояния обделок в течение многих лет. Поэтому на таких участках при эксплуатации необходим более тщательный контроль технического состояния конструкций.

По результатам заключений экспертной комиссии, которые создавались после каждой аварийной ситуации, был сделан вывод, что при эксплуатации СМТ положение станет еще более опасным, если устойчивость массива вмещающих горных пород не бу-

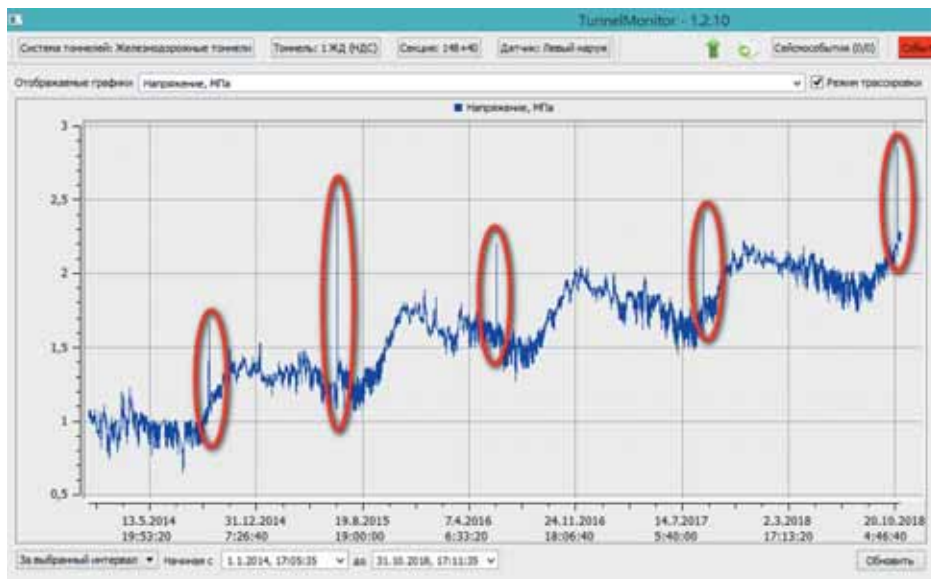


Рис. 5. Изменение нормальных тангенциальных напряжений в обделке из монолитного железобетона на ПК 148+40, МПа. Красным цветом выделено увеличение напряжений из-за проливных дождей

дет повышена, например, водопонижением или созданием мощного водонепроницаемого экрана, гарантированно защищающего тоннель от негативных воздействий вибраций от поездов и землетрясений слабой и средней интенсивности (до 7 баллов). Так как образовавшаяся при водоотливах подземных вод из IV тектонической зоны депрессионная воронка на поверхности над трассой тоннеля на ПК 15+50 в виде провала диаметром 5 м и глубиной 12 м способствует дополнительным водопритокам в тоннель и штольно от источников в четвертичных отложениях межгорных речных долин и коры выветривания.

Мировая практика эксплуатации тоннелей свидетельствует, что в первые 5–10 лет после строительства никаких серьезных повреждений конструкций и оборудования в тоннелях не возникает. Через 15–25 лет начинают проявляться некоторые дефекты, особенно в бетонных обделках от резких колебаний температуры воздуха, агрессивного воздействия воды, обледенений, просадок породы в основании тоннеля и т. п. Еще через 50–70 лет появляются повреждения, связанные с просчетами проектирования и строительства, старения материала конструкций, понижения деформационно-прочностных свойств во вмещающих тоннели породах [5]. Но серьезные нарушения в тоннелях, особенно построенных в сложных горно-геологических условиях с высокой сейсмичностью как СМТ, могут случиться практически в любое время из-за стихийных бедствий – землетрясений, наводнений и других, а также несоблюдения условий безопасной эксплуатации, дефектах в обделке, состоянии окружающего массива, порталах, пути, несвоевременном проведении осмотра и ремонта.

Любая авария в тоннелях представляет собой неконтролируемую ситуацию и может привести к тяжелым последствиям. В таких

условиях геотехнический мониторинг на всех стадиях строительства и эксплуатации тоннеля представляется совершенно необходимым элементом предупреждения аварий, прогноза технического состояния конструкций и безопасной эксплуатации.

#### Ключевые слова

Северомуйский тоннель, система геодинамической безопасности тоннеля, геотехнический мониторинг, напряженно-деформированное состояние, автоматизированная система контроля, техническое состояние конструкций, безопасная эксплуатация.

#### Список литературы

1. Сейсмостроительная и сейсмичность района строительства БАМ. Сб. статей /АН СССР, Междуведомственный совет по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР, Институт земной коры СО РАН СССР; Отв. ред. М. М. Одинцов. – М.: Наука, 1980. 203 с.
2. Сильвестров С., Безродный К., Касанов Р. Проявление горного давления при строительстве тоннелей БАМа // Метрострой. № 6, 1983. С. 17–18.
3. Сильвестров С., Безродный К., Трунев В. Температурные воздействия на состояние обделки // Метрострой. № 5, 1984. С. 10–11.
4. Безродный К. П., Культин И. В., Лебедев М. О. Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) в железнодорожных тоннелях Олимпийской трассы // Наука и транспорт. 2009. С. 24–26.
5. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов. /С. Н. Власов, Л. В. Маковский, В. Е. Меркин при участии А. Э. Кулиса, В. Ф. Сарабеева, В. В. Торгалова. – 2-е изд., доп. – М.: ТИИР, 2000. – 198 с.

#### Для связи с автором

Лебедев Михаил Олегович  
lebedev-lmgt@yandex.ru



# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ, РОЖДЕННЫЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ БАМ

К. П. Безродный, д. т. н., ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

**Б**ольшая удаленность (несколько сотен километров) от транспортных магистралей, горный рельеф по трассе тоннелей, сложнейшие инженерно-геологические и гидрогеологические условия не позволяли на стадии изысканий дать полную информацию по условиям сооружения тоннелей. Поэтому было очень важным разработать методы, позволяющие уточнить инженерно-геологические и гидрогеологические условия впереди забоя тоннеля, для выбора оптимальных технологий сооружения тоннелей.

Были разработаны на уровне изобретений два геофизических метода. Один основан на регистрации естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ВИЭМПЗ). Было получено, что при проходке тоннеля, когда зона концентрации напряжений в массиве (зона опорного давления) попадает в предразломную зону, электромагнитная имиссия (ЭМИ) увеличивается, затем при продвижении забоя, когда зона опорного давления попадает в разлом (зона дезинтеграции грунтов) ЭМИ падает [1]. Второй метод – это сверхширокополосная (СШП) георадиолокация. С его помощью определяли положение, размер тектонических разломов, в частности в четвертой тектонической зоне Северомуйского тоннеля [2]. Следует отметить и разработку критериев необходимости инъекционного закрепления зон тектонических разломов на Северомуйском тоннеле. Критериями являлись параметры опережающего бурения из забоя, которые базируются на скорости бурения, величине гидростатического давления, объемах водопритоков, на объеме и характере выходящего шлама по интервалу из скважины [3].

Конечно к таким сложным инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям, как на Северомуйском тоннеле, наша тоннелестроительная отрасль была не готова. Не было нормативно-технических документов. Поэтому решения приходилось принимать по ходу возникновения проблемы. Для ускорения принятия решений приказом Министра путей сообщений СССР и Министра транспортного строительства СССР был создан на месте строительства временный научно-технический коллектив (ВНТК). Руководителем ВНТК был начальник Бамтоннельстроя В. А. Бессолов, заместителем по строительству – главный инженер Бамтоннельстроя, по проектированию – начальник Бамтоннельпроекта, по научно-исследовательским работам – начальник филиала (лаборатории) ЦНИИС, заместителем от заказчика – начальник Северобайкальской группы заказчика.

ВНТК было дано право на месте строительства принимать решения по технологии проходки, финансовому обеспечению, разработке необходимой проектно и нормативно-технической документации.

Основные препятствия представляли зоны тектонических разломов, представленные дезинтегрированными до песка и глины грунтами при гидростатическом давлении до 5 МПа. Причем из 15,3 км длины Северомуйского тоннеля зоны разломов занимали 2,6 км.

Непосредственно на строительстве тоннеля разработкой технологии закрепления грунтов разломов занимались фирмы и организации: «Солетанш» (Франция), «Кокен Боринг» (Япония), «Спецтомпажгеология» (ССР Украина), институт химии высокомолекулярных соединений (ИХВС) АНУССР, «Ленметрогипротранс», ЦНИИС. Солетанш использовал технологию манжетных колонн, гидроразрыв и фильтрационную пропитку, Кокен-Боринг – прямое инъектирование наступающими заходками для создания армированного прожилками раствора грунта. В обоих случаях применяли растворы на основе цемента. Спецтомпажгеология с глинистыми растворами для водоподавления в трещиноватых скальных грунтах не смогла решать задачу в дезинтегрированных грунтах разломов. ИХВС АНУССР использовал для закрепления грунтов экзотические и дорогие растворы на основе полиизоцианата и олигоэфиракрилата, которые оказались чрезвычайно дороги, экологически опасны и нетехнологичны. Должного успеха не получилось.

Специалисты Ленметрогипротранса разработали проект замораживания водонасыщенных грунтов разлома жидким азотом. В общем, получилось. Но были проблемы:

- деструктуризация грунтов при замораживании последующим оттаиванием;
- вывод газообразного азота из подземных выработок.

Бамтоннельстрой, лаборатория ЦНИИС и Бамтоннельпроект пошли по другому пути. В результате проведенных исследований и опытных работ было получено, что наибольший эффект при инъекционном закреплении грунтов можно получить путем их консолидационного уплотнения и создания армирующих грунт затвердевших прожилков раствора [4, 5]. Был разработан цементно-хлоркальциевый раствор, где хлоркальциевый компонент имеет вязкость сравнимую с водой и при инъектировании пропитывает мелкодисперсные составляющие разлома. Давление при инъектировании доходило до 15–20 МПа. После создания впереди забоя

вокруг будущего тоннеля зоны закрепленных грунтов по ее внешней границе бурят дренажные скважины для снятия гидростатического давления [4]. Исследования показали, что интегральный модуль деформаций инъекционно закрепленного грунта в 1,5–2,0 раза выше, чем в природном состоянии. Гидростатическое давление на закрепленный грунт с помощью дренажных скважин удавалось снизить до 0,1–0,2 МПа. Для ускорения инъекционного закрепления разлома были использованы камуфлетные взрывы, с помощью которых в дезинтегрированных водонасыщенных грунтах образовывали горизонтальные цилиндрические полости за контуром будущего тоннеля, которые мгновенно заполняли твердеющим раствором [6].

Результатом теоретических исследований инъекционно закрепленных грунтов был разработан метод расчета косвенно армированных грунтов прожилками раствора с использованием методов механики сплошной среды [7].

По трассе Северомуйского тоннеля со стороны западного портала был встречен мощный грабен (Ангараканская депрессия) длиной по трассе тоннеля 800 м, над шельгой свода 190 м, заполненный четвертичными водонасыщенными отложениями с гидростатическим давлением на уровне тоннеля 1,5 МПа.

После исследований, опытных откаток был разработан проект комплексного водопонижения в Ангараканской депрессии для сооружения транспортно дренажной (ТРДШ) и тоннеля [8]. Вдоль трассы тоннеля и штольни были пробурены вертикальные скважины ниже лотка тоннеля и штольни. В них установили насосы глубинного водопонижения с мощными фильтровыми колоннами, которые осуществляли водопонижение с поверхности над тоннелем.

Из ТРДШ была пройдена наклонная штольня в скальных грунтах борта депрессии под тоннель и ТРДШ. Эта штольня имела несколько боковых камер, из которых с помощью двухшпиндельных станков фирмы «ТОНЭ-БОРИНГ» (Япония) были пробурены в четвертичных отложениях горизонтальные скважины, оснащенные фильтрами. Вода из этих скважин попадала в водоотводный лоток ТРДШ и уходила на западный портал тоннеля. Такое комплексное водопонижение позволило снизить уровень грунтовых вод ниже лотка тоннеля и успешно осуществить его сооружение.

Достаточно успешно при строительстве тоннелей БАМ был применен разработанный для различной степени дезинтеграции

грунтов впереди забоя опережающий забой экран из труб [9].

Достаточно большой объем внедрения этого метода был осуществлен при проходке двухпутных Мысовых тоннелей на озере Байкал. Тоннели расположены по берегу Байкала и находятся на 50 м выше уровня воды в нем. Поэтому депрессионная поверхность находится ниже лотка тоннелей, грунты по трассе тоннеля сухие, не считая инфильтрационных вод. Грунты разной степени трещиноваты, имеются достаточно протяженные участки дезинтегрированных грунтов. Предварительно были проведены теоретические, стендовые и натурные исследования. В результате было изучено напряженно-деформированное состояние экрана из труб в зависимости от продвижения забоя [10]. Получено, что трубы вступают в работу на расстоянии диаметра тоннеля впереди забоя и на этом расстоянии реализуется около 40 % смещений контура будущего тоннеля. Экраны из труб применяли и при строительстве Северомуйского тоннеля, на ТРДШ и самом тоннеле при незначительном гидростатическом давлении.

Большие исследования были проведены и по конструкциям крепей и обделок тоннелей.

Во-первых, были уточнены деформативно-прочностные характеристики скальных грунтов разной степени трещиноватости, изучены природные поля напряжений. Следует отметить, что в крепких скальных грунтах прочностью на одноосное сжатие 120–160 МПа возводили монолитную бетонную обделку прочностью 30 МПа. Этого требовали нормативные документы. Более того, по датчикам, установленным в обделке во время ее бетонирования в опалубке, получали следующую картину. Во время гидратации цемента бетон разогревается до +50–60 °С, но в это время бетон имеет большую податливость и возникающие температурные напряжения невелики. Затем происходит набор прочности бетона, увеличение модуля деформации и его охлаждение до температуры окружающей среды. Благодаря неровностям грунтового контура после буровзрывных работ и хорошей адгезии бетона к грунту в обделке возникают растягивающие напряжения. В районах, где существуют значительные градиенты суточных и сезонных температур, соответственно и напряжений, складываясь с существующими, формируют НДС обделки, которое в основном формируется температурными воздействиями [11]. Такого эффекта не возникает в набрызг-бетонных обделках, которые возводятся послойно, имеют меньшую толщину и соответственно в них возникают гораздо меньшие температурные напряжения. В 1979 г. на Байкальском тоннеле со стороны западного портала был сооружен 30-метровый опытный участок постоянной обделки в набрызг-бетоне, который без нарушений служит по сегодняшний день. Практически по всей длине ТРДШ Байкальского и Северомуйского тоннеля за исклю-

чением зон разломов обделка выполнена в набрызг-бетоне [12]. Эти исследования показали, что напряжения в слаботрещинчатых крепких скальных грунтах, вызванные сооружением тоннеля и ТРДШ, воспринимаются вмещающим массивом, а в обделке действуют напряжения, вызванные температурными воздействиями. При уровне действующих напряжений скальный массив работает без нарушения сплошности. Причем в набрызг-бетонных обделках напряжения незначительны, благодаря их малой толщине и послойному нанесению, что приводит к небольшим температурным градиентам по их толщине.

Во время как было отмечено выше, в монолитных бетонных обделках растягивающие напряжения близки к пределу прочности бетона.

Для сооружения тоннелей в сильно трещиноватых и дезинтегрированных грунтах тектологических разломов, как однопутных, так и двухпутных тоннелей, была разработана технология проходки с применением арочно-бетонной крепи [13]. Затем были выполнены исследования, результатом которых была конструкция двухслойной обделки [14]. Наружным слоем этой обделки была арочно-бетонная крепь, которая учитывалась при расчете постоянной обделки. Причем конструкция такой обделки такова, что на внутренний слой растягивающие напряжения при землетрясениях не передаются. Такие сейсмостойкие обделки были сооружены на двухпутных Мысовых тоннелях и однопутном – Северомуйском.

Следует отметить, что при строительстве тоннелей БАМ были встречены и вечномёрзлые грунты, где были разработаны специальные технологии.

Таким образом, сложнейшие условия строительства тоннелей БАМ стали толчком для создания новых технологий и конструкций, а тоннелестроительная отрасль СССР приобрела новый технический уровень и высококвалифицированных специалистов в тоннелестроении.

#### Ключевые слова

Сложные инженерно-геологические условия, технологии закрепления грунтов, глубинное водопонижение, арочно-бетонная крепь.

*Complex engineering-geological conditions, docking soil technology deep water level reduction.*

#### Список литературы

1. Басов А. Д., Безродный К. П. «Обнаружение зон разломов бесконтактным методом». – *Метрострой*. – № 2, 1991 г., с. 24–25.
2. Мацегора А. Г., Безродный К. П., Горин Г. Г., Козик Н. В., Кукулин В. А. – «Определение необходимости упрочнения грунтов зон тектонических нарушений». – *Транспортное строительство* – № 5, 1989 г., с. 18–20.
3. Болтинцев В. В., Ильяхин В. Н., Безродный К. П., Нагорный С. Я., Крикленко К. А., Скаун А. П. –

*«Геофизические методы для оценки инженерно-геологических условий и устойчивости пород впереди забоя во время сооружения тоннеля».* – М., 28–31 октября 2002 г., с. 441–445.

4. *Руководство по физико-химическому укреплению грунтов при строительстве Северомуйского железнодорожного тоннеля.* – М., ЦНИИС, 1989 г., 143 с.

5. Безродный К. П., Мацегора А. Г., Бессолов В. А., Касатов Р. И. «Технология преодоления зон тектонических разломов с применением инъекционного укрепления грунтов». – *Научно-технический информационный сборник*. – М., ВПТИ Трансстрой, № 22, 1990, с. 3–14.

6. Безродный К. П., Мацегора А. Г., Бессолов В. А., Басов А. Д., Нестеровский А. Л. – «Упрочнение грунтов с использованием энергии взрыва» – *Транспортное строительство* – № 10, 1988 г., с. 27–29.

7. Мацегора А. Г., Безродный К. П., Саммаль А. С., Фотиева Н. Н. – «Проектирование и технология инъекционного закрепления грунтов при строительстве транспортных тоннелей». – ОАО «Ленметрогипротранс», М., 1997, 90 с.

8. Мацегора А. Г., Безродный К. П., Бессолов В. А., Грибарь А. В. – «Комплексное водопонижение при преодолении протяженных зон водонасыщенных грунтов». – *Научно-технический информационный сборник*. М., ВПТИ Трансстрой, № 22, 1990, с. 5–20.

9. *Рекомендации по применению опережающих экранов из труб при сооружении транспортных тоннелей.* ЦНИИС, М., 1988, 47 с.

10. Власов С. Н., Безродный К. П., Сильвестров С. Н., Бессолов В. А. – «Проходка тоннелей большого сечения с применением опережающей крепи». – *Транспортное строительство*, 1985, № 8, с. 22–24.

11. Трунев В. Г., Горбатов В. Г., Безродный К. П. – «Исследование температурных полей системы обделки породы тоннелей БАМа». – *Сб. научных трудов ЦНИИС «Рациональное использование трудовых, материальных и топливно-энергетических ресурсов в транспортном строительстве»*, ЦНИИС, М., 1984, с. 37–41.

12. *Рекомендации по применению набрызг-бетона в качестве постоянной обделки тоннелей БАМ.* Сильвестров С. Н., Безродный К. П. М., ЦНИИС, 1984, 17 с.

13. *Рекомендации по проектированию и строительству тоннелей с применением арочно-бетонной крепи, учитываемой в составе постоянной обделки.* М., ВНИИТС, 1992, М., 51 с.

14. Бессолов В. А., Безродный К. П. *Строительство тоннелей Байкало-Амурской железнодорожной магистрали.* – *Подземное и шахтное строительство.* – № 3, 1991, с. 17–20.

#### Для связи с автором

Безродный Константин Петрович  
Besrodny@lenmetro.ru



# ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В СФЕРЕ ГОРНОСТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

## IMPORT SUBSTITUTION IN THE UNDERGROUND CONSTRUCTION SECTOR. THE EXPERIENCE OF USING A RUSSIAN-MADE TUNNEL BORING MACHINE FOR THE CONSTRUCTION OF THE ST. PETERSBURG METRO

**А. Н. Ревва**, главный специалист по качеству и научной деятельности ОАО «Метрострой»

**A. N. Revva**, Chief Specialist for Quality and Research

**При строительстве Санкт-Петербургского метрополитена стартовал механизированный тоннелепроходческий комплекс российского производства. Несмотря на проблемы, с которыми пришлось столкнуться, метростроевцы выделяют значительные преимущества от применения новой техники.**

***A Russian-Made Tunnel Boring Machine was used during the Construction of the St. Petersburg Metro. The first experience of using this machine has already showed its advantages.***

24 апреля 2019 г. стартовала проходка правого перегонного тоннеля между станциями «Театральная» и «Спасская». Участок протяженностью всего 800 м, но заслуживает внимания, так как он сооружается новым тоннелепроходческим комплексом российского производства.

Комплекс КТПМ-5,6 изготовлен на Скуратовском опытно-экспериментальном заводе (г. Тула) еще в 2012 г. по совместной с ОАО «Метрострой» разработке, но до настоящего времени так и не был применен на объектах метростроения.

Аналогом к его разработке послужил комплекс КТ-1-5,6, изготовленный Ясиноватским машиностроительным заводом, который не одно десятилетие проработал во благо Петербургского метрополитена, но уже давно требовал модернизации для приведения в соответствие с актуальными нормами и требованиями безопасности, а также с учетом появления в отрасли современного технологического оборудования и прогрессивных технологий.

Ясиноватский комплекс тоннелепроходческий КТ-1-5,6 разработан в 70-х годах прошлого века и идеально подходил для ленинградских условий: плотных сухих грунтов. Особенности данного комплекса: 4-лучевой режущий орган со стержневыми резцами и дисковыми шарошками, механизм сборки обделки тоннеля обжатой в породу.



Рис. 1. Тоннелепроходческий комплекс (вид 1)



Рис. 2. Тоннелепроходческий комплекс (вид 2)

Рис. 3. Кабина машиниста

Сборная обделка, обжатая в породу, из плоских железобетонных блоков с разжатием в лотке с помощью гидравлического домкрата разработана для применения в качестве несущей конструкции перегонных тоннелей. Обделка собирается укладчиком с поддерживающими блоками устройствами, в том числе с помощью конвейерного укладчика КТЗ-5,6, входящего в щитовой комплекс Ясиноватского машиностроительного завода.

Обделка состоит из восьми нормальных блоков, двух лотковых, вкладышей, клиньев и прокладок. Сопряжение тубингов в продольных швах колец осуществ-

новлен мировой рекорд по скорости проходки – с использованием КТ-1-5,6 было сооружено 1250 м тоннеля в месяц. Подобных результатов не могут достигнуть и в настоящее время, применяя современные механизированные тоннелепроходческие комплексы.

Так, учитывая высокую эффективность сочетания обделки, обжатой в породу, с комплексом КТ-1-5,6, было решено создать современный тоннелепроходческий комплекс для сооружения перегонных тоннелей Петербургского метрополитена с обделкой диаметром 5,63 м, отвечающий самым современным требованиям.

4-лучевой режущий орган со стержневыми резцами заменен дисковым; установлена современная маркшейдерская навигационная система и система визуального контроля положения щита, отсутствующие ранее; наличие комфортной кабины машиниста, расположенной на технологической тележке, с возможностью полного контроля из нее над всеми технологическими процессами посредством пульта управления, визуализации на мониторах положения щита и параметров работы всех систем – ранее машинист находился в призабойной зоне в непосредственной близости с режущим органом; появление современной контроллерной аппаратуры совместно с комплексом измерительных датчиков позволяет вести работы в автоматическом режиме; наличие системы видеонаблюдения и переговорных устройств облегчают контроль над процессами; появление системы пылеподавления создает более комфортные условия работы.

Скорости проходки на этапе пусконаладочных работ еще не велики – до 5 м/сут, но потенциал комплекса позволяет преодолеть скоростные нормы сооружения подобных тоннелей.

Комплекс КТПМ-5,6 успешно приступил к работе на объекте строительства Петербургского метрополитена с целью повысить технический уровень и эксплуатационные параметры своего предшественника – производительность, легкость обслуживания, износоустойчивость и точность работы, безопасность работы и улучшение условия труда.

#### Ключевые слова

Импортзамещение, тоннелепроходческий комплекс, механизация работ.

*Import substitution, tunnelling complex, mechanization works.*

#### Для связи с автором

Ревва Алексей Николаевич  
a.revva@metrostroy-spb.ru

#### Основные технические данные КТПМ–5,6

Производительность (техническая) по разработке забоя – 2,5 м/ч

Производительность (техническая) по сооружению готового тоннеля – 2 м/ч

Общая длина комплекса – 35 м

Радиус кривизны тоннеля на трассе – не менее 300 м

Обделка – Ø 5,63 м, ширина кольца 1 м, обжатая в породу

вляется посредством выпуклых обработанных поверхностей и установкой шпиклек. Благодаря наличию этих шарнирных стыков и обжатию обделки в породу в элементах кольца отсутствуют изгибающие моменты, и обделка работает только на сжатие. Такая обделка немедленно вступает в совместную работу с грунтом. Вследствие ликвидации зазоров между грунтом и обделкой в процессе обжатия устраняется возможность проседания кровли выработки и осадок дневной поверхности, отпадает необходимость в сдерживающем темп проходки заполнении тампонажным раствором заобделочного пространства.

Такой тип обделки, простой в изготовлении и сборке, совместно с применением механизированного проходческого комплекса позволил значительно повысить скорость проходки перегонных тоннелей в условиях Ленинграда. В 1981 г. был уста-

По обычаю метростроителей всем тоннелепроходческим комплексам дают женские имена в честь покровительницы подземных работ святой Барбары. По результатам соцопроса комплекс КТПМ-5,6 получил необычное имя «Петровна» (Санкт-Петербург – город Петра, а форма обращения по отчеству достаточно распространена среди проходчиков и означает высокую степень доверия и уважения).

Первые метры проходки указали на слабые стороны комплекса. Просыпание грунта с ленты щитового конвейера приводит к его заклиниванию, а конструкция копир-резцов – к сложности управления комплексом, направления по трассе в профиле. Контроль загрузки ленты с периодической очисткой конвейера и доработка конструкции копир-резцов решили эти проблемы.

Из основных отличий КТПМ-5,6 от КТ-1-5,6 можно выделить тип режущего органа –

# МЕХАНИЗАЦИЯ ГОРНОПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СТВОЛОПРОХОДЧЕСКОГО КОМБАЙНА РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

## MECHANIZATION OF MINING OPERATIONS. THE EXPERIENCE OF USING A RUSSIAN-MADE SHAFT SINKING MACHINE FOR THE CONSTRUCTION OF THE ST. PETERSBURG METRO

**А. Н. Ревва**, главный специалист по качеству и научной деятельности ОАО «Метрострой»

**A. N. Revva**, Chief Specialist for Quality and Research

**В статье рассмотрен опыт применения стволпроходческого комбайна российского производства при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена, описаны сложности, с которыми пришлось столкнуться, и преимущества от использования отечественного горнопроходческого оборудования.**

*The article describes the experience of using a Russian-made shaft sinking machine in the construction of the St. Petersburg metro, describes the arisen difficulties, and advantages of using this mining equipment.*

**В** Санкт-Петербурге завершена экспериментальная проходка ствола шахты № 571 Лахтинско-Правобережной линии Петербургского метрополитена с применением нового стволпроходческого комбайна СПК-6,0 российского производства, разработанного при совместной работе ОАО «Метрострой» и ООО «Скуратовский опытно-экспериментальный завод» (ООО «СОЭЗ»).

О старте экспериментальных работ и о проблемах на начальном этапе уже писали в выпуске № 4 прошлого года. Пришло время подвести итоги.

Стволпроходческий комбайн СПК-6,0 предназначен для разработки грунтового массива вертикального шахтного ствола механизированным способом, погрузки разработанного грунта подвешенным на силовом секторе комбайна экскаватором-погрузчиком в породную бадью и сборки тубингового кольца на монтажном кольце комбайна с последующим его подъемом и креплением к колонне ствола.

Работа комбайна осуществляется по циклической схеме после придания неустойчивым грунтам прочности и предотвращения притока в выработку воды методом замораживания.

В отличие от стандартного расположения стволпроходческого оборудования, подвешенного в сооружаемом стволе на канатах, во время разработки массива забоя комбайн СПК-6,0 опирается башмаками домкратов на забой ствола, а также до-



Рис. 1. Стволпроходческий комбайн (вид 1)

полнительно распирается при помощи гидроцилиндров в его стенки.

Исполнительным органом осуществляется разработка породы на заданную глубину по всей площади сечения ствола с применением вращения фрезы исполнительного органа, качания исполнительного органа в горизонтальной плоскости, подъема-опускания исполнительного органа, поворота внутреннего кольца.

Обработка забоя осуществляется по кольцевой или веерной послойной схеме. Количество слоев обработки на один шаг передвижки по глубине (при монтаже чугунных тубингов высотой 1 м) равен двум слоям высотой по 0,5 м.

При разработке породы в центральной части забоя, комбайн полностью опирается на забой с использованием всех предусмотренных конструкцией опорных гидроцилиндров. При отбойке породы с периферийной области забоя для исключения контакта фрезы исполнительного органа с опорными гидроцилиндрами предусмотрен поочередный подъем и опускание по одной опоре для пропуска под ней фрезы. После выхода фрезы из зоны возможного контакта сначала производится опускание ранее поднятой опоры, а потом поднятие следующей опоры.

Разрушенная порода находится на почве забоя. Ее погрузка осуществляется подвешенным на силовом секторе комплекса экскаватором-погрузчиком в породную бадью, опускаемую с поверхности.

Далее производится опускание комбайна на величину обработанного пространства, монтаж нового кольца тубингов с подачей и стыковкой его к колонне ствола.

После монтажа очередного кольца ведутся работы по первичному нагнетанию затрубного пространства.

После этого цикл проходки повторяется.

Функционально комбайн состоит из двух основных элементов: монтажного внешнего кольца и вставленного в него внутреннего поворотного кольца.

Монтажное кольцо служит основой для размещения гидро- и электрооборудования, а также платформой для монтажа элементов тубинговой крепи.

Внутреннее кольцо служит для установки механизмов рабочего органа, элементов гидро- и электрооборудования и условно делится на обод и силовой сегмент.

Комбайн оснащен кабиной оператора с пультом управления, панельным компьютером с интерактивным экраном управления режимами и отображения параметров работы элементов оборудования, а также хода выполнения технологических процессов. Отсюда осуществляется контроль над технологическими процессами и техническими параметрами путем опроса системы датчиков: датчиков контроля давления в ключевых точках гидросистемы, датчиков перемещения хода гидроцилиндров, датчиков углового положения поворота испол-

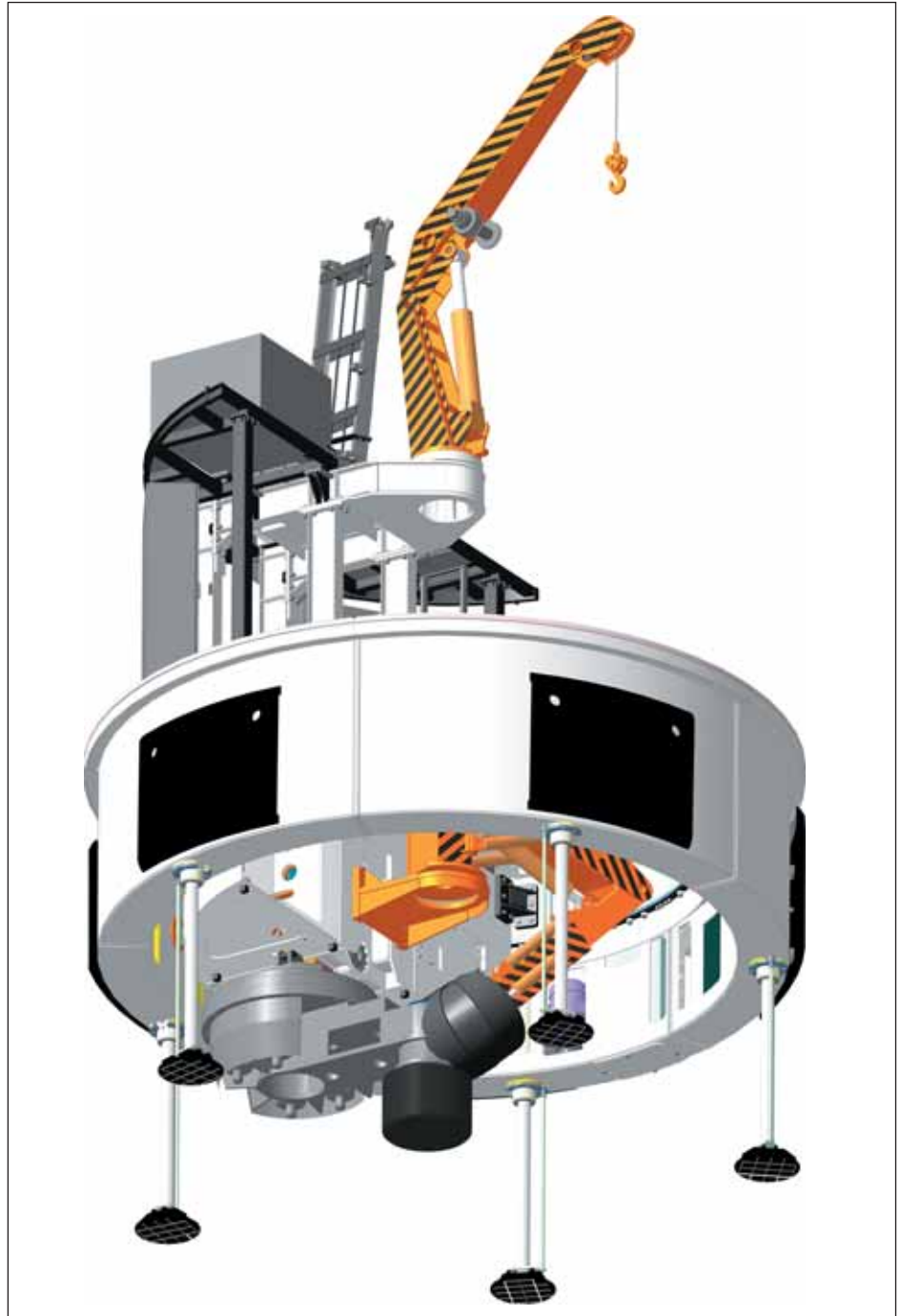
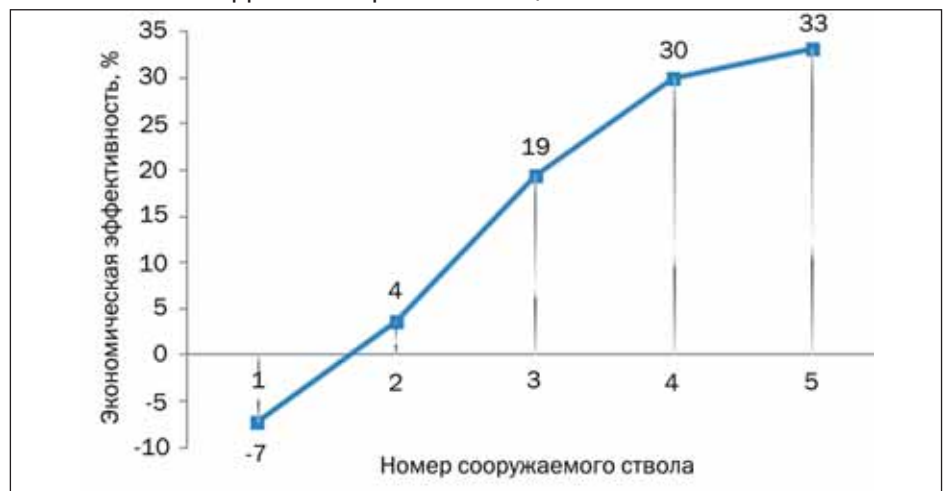


Рис. 2. Стволопроходческий комбайн (вид 2)

Рис. 3. Экономическая эффективность применения СПК-6,0



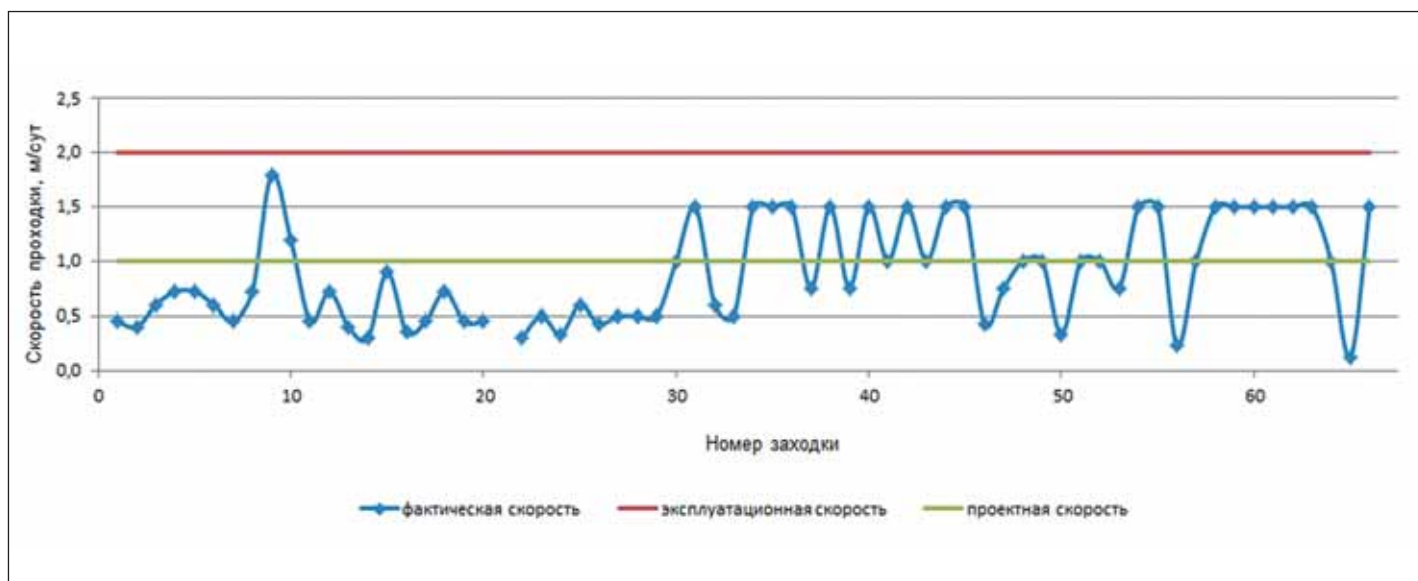


Рис. 4. Скорость проходки

нительного органа и поворота внутреннего кольца, концевых выключателей крайнего положения рукояти рабочего органа и выключателя блокировки экскаватора-погрузчика, датчиков контроля уровня и перегрева масла, электрических датчиков-индикаторов засоренности фильтров маслостанций, инклинометров плоскостности комбайна и других элементов контроля.

Контроллерное оборудование, производящее опрос системы датчиков и формирование логических вычислений, позволяет осуществлять управление механизмами в ручном, полуавтоматическом и автоматическом режимах.

Передача команд по управлению подвижных механизмов монтажного кольца, а также обратной передачи информации о параметрах и состоянии этих механизмов на пульт управления осуществляется через приемо-передающие модули (Wi-Fi точки доступа).

Для обзора зоны работы исполнительного органа с выводом информации на экран пульта управления оператора смонтирована система видеонаблюдения.

Ствол шахты № 571 Лахтинско-Правобережной линии Петербургского метрополитена глубиной более 70 м сооружался в сложных геологических условиях: на юго-западном борту Васильевского «размыва» – до глубины 39 м это слабосвязные глинистые и рыхлые обводненные совершенно неустойчивые четвертичные отложения с галькой и валунами. Уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 1,2 м от дневной поверхности. Водовмещающими грунтами являются насыпные грунты, пески пылеватые и прослойки песка в слоистых суглинках и супесях. Подземные воды залегают на глубине 35–37 м. Водовмещающими являются гравийно-галечные грунты. Воды напорные: гидростатическое давление 0,34 МПа.

В связи с неблагоприятными для сооружения условиями проектом было предус-

мотрено сооружение ствола с чугунной обделкой диаметром 5,49 м с предварительным рассольным замораживанием грунтов на глубину 42 м.

Чугунная обделка способна обеспечить гидроизоляцию ствола, благодаря чеканке швов свинцовой проволокой. Эта конструкция лучше воспринимает горное и гидростатическое давление, а швы сохраняют необходимую «эластичность» при незначительных механических воздействиях.

Проходческие работы велись в штатном режиме с небольшими отклонениями по скорости проходки, что обусловлено процессом освоения и отработки новой техники, обучением персонала, также сказывались и геологические условия – ежедневно приходилось извлекать валуны.

К примеру, на начальном этапе проходки мы столкнулись с перегревом планетарного редуктора привода режущего органа. После обследования механизмов, специалисты пришли к выводу, что комплексу требуется дополнительная система смазки и охлаждения привода фрезы. Комплекс был оперативно доработан и продолжил свою работу. Также производилась наладка датчиков калибровки рабочего органа, домкратов, были устранены утечки масла домкратов.

Опыт применения стволопроходческого комплекса СПК-6,0 показал возможность использования данного оборудования при сооружении вертикальных стволов в геологических условиях Санкт-Петербурга. Заметим, что главным плюсом данной технологии является абсолютное исключение ручного труда при разработке и погрузке грунта, повышение безопасности горнопроходческих работ в связи с отсутствием рабочих в забое выработки.

Расчет экономической эффективности применения стволопроходческого комбайна показал, что окупаемость проекта внедрения нового оборудования

будет достигнута уже при проходке второго ствола.

При сооружении первого экспериментального ствола шахты № 571 ставилась задача не показать экономические преимущества данной технологии, а отработать новую технологию, доработать механизмы. Отсюда, скорость проходки была несколько занижена. По этой же причине не было целесообразным сокращать количество рабочих, занятых на сооружении ствола.

Скорость проходки к завершению сооружения ствола достигла 1,5 м/сут, что значительно превышает нормативную скорость проходки ствола подобного типа горным способом (0,8 м/сут). Технические характеристики СПК 6,0 позволяют сооружать вертикальные стволы со скоростью 2 м/сут, которая может быть достигнута на следующих объектах. Также, после окончательной доработки комбайна и технологических процессов проходческую бригаду (шесть-восемь человек) заменит звено, состоящее из двух-трех человек.

Новый комплекс СПК-6,0 успешно прошел испытания при строительстве Петербургского метрополитена в сложных горно-геологических условиях. Он значительно облегчает труд метростроителей, обеспечивает безопасность работ и сокращает сроки сооружения стволов. Успешный опыт применения надежного и относительно недорогого горнопроходческого оборудования российского изготовления должен дать толчок к возрождению его производства.

#### Ключевые слова

Импортозамещение, шахтный ствол, механизация работ.

*Import substitution, mine shaft, mechanization works.*

#### Для связи с автором

Ревва Алексей Николаевич  
a.revva@metrostroy-spb.ru







**Первому заместителю генерального директора  
АО «Мосметрострой» Михаилу Юрьевичу Арбузову  
14 сентября 2019 г. исполнилось 60 лет.**

Михаил Юрьевич в 1981 г. окончил Московский ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени институт железнодорожного транспорта по специальности «Мосты и тоннели» и приступил к работе в СМУ-5 Московского метростроя, где прошел большой, наполненный трудовыми свершениями трудовой путь от инженера подземных работ до генерального директора этой организации.

В годы работы в этом строительно-монтажном управлении он участвует в сооружении объектов

транспортной инфраструктуры Москвы, активно занимается разработкой и внедрением инновационных технологий строительства подземных сооружений. В частности, он принимал участие в разработке и внедрении технологии проходки тоннелей под защитой экрана из труб. Эта технология успешно применена при сооружении тоннеля в насыпи железной дороги Павелецкого направления на пересечении с Нахимовским проспектом. Работы проводились без остановки движения поездов. За успешное выполнение этой работы Михаилу Юрьевичу присвоено почетное звание «Профессиональный инженер России».

Михаил Юрьевич участвовал также в строительстве Серебряноборских тоннелей с применением механизированного тоннелепроходческого комплекса диаметром 14,2 м. На этом объекте в сложных инженерно-геологических условиях были показаны хорошие результаты по срокам и качеству выполнения подземных работ.

По результатам внедрения инновационных технологий М. Ю. Арбузовым опубликован ряд научных статей в научно-технических журналах.

Трудовые достижения М. Ю. Арбузова отмечены присвоением ему почетных званий и вручением правительственных наград.

В 2014 г. Михаил Юрьевич был назначен заместителем генерального директора АО «Мосметрострой» по производству и в настоящее время работает первым заместителем генерального директора этой организации, активно участвуя в реализации масштабной Программы правительства г. Москвы по развитию Московского метрополитена.

***Уважаемый Михаил Юрьевич! Правление Тоннельной ассоциации России сердечно поздравляет Вас со славным юбилеем. Искренне желаем Вам крепкого здоровья, многих лет счастливой и активной жизни, новых трудовых успехов!***

*Правление Тоннельной ассоциации России*

# Материалы для специальных методов строительства

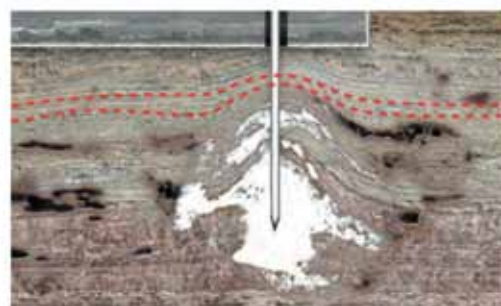


## Микроцементы MikroBond MC

- Имеют высокую проникающую способность.
- Восстанавливают качество и прочность цементных, бетонных и кирпичных конструкций.
- Используются для цементации грунтобетонных массивов, гидроизоляции подземных сооружений, устройства противодиффузионных экранов.
- Применяются для закрепления оснований фундаментов существующих зданий.

## Материалы для компенсационного нагнетания САТгрунд и АПгрунд

- Применяются для устранения ненормативных деформаций грунтовых массивов, а также для устройства компенсационных экранов защиты оснований сооружений от сверхнормативных деформаций.
- Имеют постоянно воспроизводимые свойства и регулируемые сроки схватывания.



## Обойменный раствор Бентоцем

- Обеспечивает оптимальное адгезионное сцепление с поверхностью.
- Обладает постоянным химико-минералогическим составом.
- Экологически безопасен.

# ЦЕННАЯ КНИГА ПО ТРАНСПОРТНОМУ ТОННЕЛЕСТРОЕНИЮ В ГОРОДАХ



В издательстве «Кнорус» вышло в свет учебное пособие «**Строительство городских автотранспортных тоннелей в сложных условиях**» (авторы: Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула), посвящённое важному аспекту освоения подземного пространства городов. В книге рассматриваются актуальные вопросы проектирования, строительства и эксплуатации автодорожных и городских тоннелей, связанные с необходимостью комплексного решения при этом сложных научных, инженерных, архитектурно-планировочных, социально-экономических и экологических задач. Соответствующие проблемы возникают при строительстве тоннелей в сложных градостроительных, топографических, транспортных и инженерно-геологических условиях, характеризующихся плотной капитальной застройкой, интенсивным движением транспортных средств и пешеходов, наличием толщи нарушенных, слабоустойчивых и обводнённых грунтов, агрессивного воздействия окружающей среды и пр. В учебном пособии рассмотрены основные особенности строительства городских тоннелей транспортного назначения. На основе анализа и обобщения отечественного и зарубежного опыта тоннелестроения, а также с учётом требований действующих нормативных документов описаны наиболее рациональные конструктивно-технологические решения, направленные на минимизацию нарушений городской среды в процессе строительства тоннелей. Рассмотрены многочисленные примеры наиболее крупных городских тоннелей.

Учебное пособие состоит из пяти глав.

В главе 1 показано влияние тоннелей на состояние городской среды, приведены характеристики сложных условий городского тоннелестроения, основные требования по минимизации нарушений городской среды при строительстве тоннелей, рассмотрены организация, технология, надзор и научно-техническое сопровождение строительства.

Глава 2 посвящена строительству тоннелей со вскрытием дневной поверхности. Здесь рассматриваются открытые и полукрытые способы работ, виды крепи, а также вре-

менные мосты-перекрытия и сборно-разборные эстакады через котлованы.

В главе 3 речь идёт о строительстве тоннелей без вскрытия земной поверхности. Излагаются горные и щитовой способы, а также продавливание под действующими коммуникациями. Специальное внимание уделено проходке в нарушенных и слабоустойчивых грунтах с опережающей крепью, в закарстованных грунтах, применению нового австрийского тоннельного метода. Описываются щиты кругового очертания с призабойными пригрузочными камерами, щиты с несколькими одновременно действующими рабочими органами, а также щиты некругового очертания.

Содержание главы 4 связано с особо важным аспектом городского тоннелестроения – ограничением осадков грунтового массива, поверхности земли, зданий и сооружений при строительстве. Описываются характер проявления и причины возникновения осадков, методы их прогнозирования и меры по минимизации. Излагаются вопросы защиты строящихся тоннелей от подземных вод, искусственное замораживание и химическое закрепление грунтов, их струйная цементация. Рассматриваются профилактические и конструктивно-технологические меры по защите наземных зданий и сооружений, в том числе компенсационное нагнетание.

Глава 5 посвящена предупреждению аварийных ситуаций и ликвидации их последствий при строительстве транспортных тоннелей в городских условиях. Приводятся основные причины аварий, влияние природных и техногенных факторов. Анализируются аварийные ситуации при строительстве тоннелей, такие как обрушение грунта, затопление тоннельных выработок, загазованность воздуха, пожары и взрывы.

Учебное пособие написано на высоком научно-техническом уровне, иллюстрировано многочисленными примерами и будет полезно не только студентам, магистрантам и аспирантам строительных специальностей высших учебных заведений, но и инженерно-техническим работникам, связанным с городским тоннелестроением во всех его аспектах.

*В. В. Космин*

# ПРИМЕНЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

## THE USE OF STABILIZERS TO IMPROVE THE STRENGTH OF THE SOIL FOUNDATION OF ROADS

**Р. М. Худайкулов**, к. т. н., Ташкентский институт по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

**Т. Л. Мирзаев**, старший преподаватель Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог

**R. M. Hudaykulov, T. M. Mirzayev**, Tashkent institute of design, construction and maintenance of automobile roads

**В данной статье рассмотрены улучшения прочностных и деформационных характеристик лёссовых грунтов, используемых при строительстве дорожных одежд со стабилизатором T-RRP. При помощи лабораторных анализов разработана рекомендация по применению стабилизаторов для улучшения свойств лёссовых грунтов, используемая при расчете конструкции дорожных одежд.**

*This article describes the improvements, strength and deformation characteristics of loess soils used in the construction of road pavements with a stabilizer T-RRP. With the help of laboratory analyzes, a recommendation was developed on the use of stabilizers to improve the properties of loess soils used in the calculation of the pavement design.*

На сегодняшний день при быстром темпе развития автомобильного транспорта и внешней торговли роль дорожного строительства возрастает с каждым годом. Все это обуславливает необходимость строительства прочных во времени и отвечающих нормативным требованиям автомобильных дорог. Для создания таких дорог необходим всесторонний учет целого ряда различных факторов при проектировании и строительстве. Это климатические и грунтовые условия местности, возможность использования природных ресурсов в районе прокладки автомобильной дороги, необходимость обеспечения показателей автомобильной дороги с учетом перспектив движения, сохранения окружающей среды и т. д.

Выполнение указанных требований весьма важно по той причине, что при строительстве автомобильных дорог используются в большом объеме различные каменные материалы (щебень, гравий), расход которых в плотном теле часто составляет 3,0–3,5 тыс. м<sup>3</sup>, а на дорогах I–II категории 6,5–7,5 тыс. м<sup>3</sup> на 1 км дороги. В районах строительства, где нет каменных материалов, возникает необходимость в перевозках щебня, гравия, песка за сотни километров автомобильным транспортом, что удорожает их первичную стоимость в 3–4 раза и более [1].

Указанное обстоятельство является главной причиной значительного удорожания дорожного строительства и замедления темпов производства работ, к тому же разработка карьеров приводит к нарушению экологического равновесия окружающей среды.

Как показали результаты многолетних исследований дорожных институтов, а также практический опыт проектирования и строительства, денежные и материальные затраты могут быть значительно снижены, если для устройства дорожных одежд вместо каменных материалов применять местные грунты.

Прочное и стабильное во времени основание и земляное полотно являются важнейшими факторами надежной работоспособности автомобильных дорог. Однако значительный рост объема земляных работ или отсутствие грунтов, пригодных для их возведения методов и методик искусственного целенаправленного преобразования свойств, в первую очередь, местных глинистых грунтов различного возраста и генезиса, таких, как супеси, суглинки и глины требует разрабатывать методы улучшения свойств лёссовых грунтов.

В настоящее время разработаны и широко используются многочисленные методы искусственного улучшения свойств местных грунтов. В результате применения укрепленных грунтов создается реальная возможность ежегодного высвобождения сотен железнодорожных составов и многих тысяч автомобилей от перевозок каменного материала [2].

На результаты укрепления грунтов существенно влияют их свойства и гранулометрический и химический составы, а также состав и свойства вяжущих веществ и других добавок.

Исключительно важное значение для эффективного укрепления грунтов имеет последовательное выполнение требуемых технологических операций и обеспечение оптимального режима твердения и структурообразования укрепленного грунта.

В настоящее время проблема эффективного использования различных видов местных грунтов, укрепленных вяжущими материалами и другими химическими реагентами для устройства конструктивных слоев дорожных и аэродромных одежд, практически решена.

Такой огромный производственный опыт в мировой практике позволяет формулировать обоснованные практические рекомендации по дальнейшему более широкому применению укрепленных грунтов при строительстве автомобильных дорог и аэродромов.

В настоящее время широко используются органические вяжущие для укрепления грунтов, но в связи с удорожанием нефти и нефтепродуктов, трудностью разработки нефти в Узбекистане использование органических вяжущих как основных веществ для укрепления грунтов становится невыгодным.

В современных условиях настоятельно необходимы новые эффективные технологии и более дешевые материалы, обеспечивающие высокое качество дорожных работ, новые методы улучшения грунтов.

Все методы искусственного улучшения инженерного поведения грунтов в соответствии с главными действующими факторами и получаемыми эффектами могут быть разделены на два направления:

- физико-механическая стабилизация;
- физико-химическое преобразование.

Физико-механическая стабилизация связана с процессом структурных перестроек в грунте под влиянием внешних напряжений и формированием новой структуры, равновесной новому напряженному состоянию, а

Таблица 1

Характеристика лессовых грунтов

Грунты (место отбора пробы, автомобильная дорога)	Число пластичности	Влажность (%) на границе		Гранулометрический состав, %			Оптимальная влажность, %	Максимальная плотность, кг/м <sup>3</sup>
		Текучности, %	Раскатывания, %	Песок	Пыль	Глина		
Пролувиальная лессовая супесь тяжелая пылеватая (г. Гулистан-Охангаран)	5,50	27,50	22,00	22,00	68,00	10,00	17,50	1780
Аллювиальный лессовый суглинок легкий пылеватый (г. Ташкент)	8,05	25,01	16,96	20,15	85,25	12,60	14,58	1840

также с перераспределением жидкой компоненты в грунтах.

Физико-химическое преобразование связано с процессом формирования искусственных твердых веществ, которые цементируют твердые структурные элементы грунтов [3].

В последнее время повысился интерес к методам физико-механической стабилизации грунтов с использованием гидрофобизирующих поверхностно-активных веществ.

Для искусственного целенаправленного изменения свойств природных глинистых грунтов в последнее время широко применяют стабилизаторы (см. схему).



При нашей работе мы рассматривали конкретно стабилизатор T-RRP.

T-RRP действует в почве как катализатор и при правильном применении изменяет физико-химические свойства почвы, так что она при уплотнении достигает более высоких параметров плотности и стойкости, чем это возможно в природе. Это происходит благодаря стойкому изменению связывающих воду сил, частиц почвы (коллоидов). Следствием является значительное прекращение капиллярности. Принципиально важно, чтобы частички почвы (коллоиды) кон-

тактировали с действующим веществом T-RRP. Действие проявляется только после оптимального уплотнения почвы. Его присутствие в грунте в значительной мере предотвращает разбухание. Ни влажность, ни мороз не изменяют это состояние [4].

При проведении исследований в лабораторных и полевых условиях с целью выявления влияния стабилизаторов на свойства уплотненного грунта использовали различные по генетическому типу и пластичности лессовые грунты (табл. 1), аллювиальные и пролувиальные отложения.

Поверхностно-активные вещества применяются в малых количествах до 0,005 % по массе. Наибольший эффект изменения свойств системы зависит от минералогического состава, генезиса глинистого грунта, типа стабилизатора и обычно устанавливается в лаборатории экспериментальным путем.

Изменения свойств систем «глинистый грунт – гидрофобизирующее ПАВ» выполнялись на двух типах лессовых суглинков и супесей. Суглинки взяты из ТКАД, а супеси – из автомобильной дороги обхода к Гулистану.

Для стабилизаторов T-RRP и Рoadбонд определили максимальную плотность грунтов по методике ГОСТ 22733-77 [5] с использованием воды и водных растворов ПАВ. Результаты опытов показаны на рис. 1 и 2.

В соответствии с теоретическими представлениями оптимальная влажность у супесей снижается на 25 %, а максимальная плотность сухого грунта возрастает на 3 % при применении стабилизатора T-RRP и практи-

чески не изменяется при применении стабилизатора Рoadбонд по сравнению с необработанными грунтами.

Для моренных суглинков, обработанных стабилизаторами, оптимальная влажность снижается на 9 %, но плотность сухого грунта при этом возрастает на 2 % (коэффициент уплотнения  $K_y = 1,02$ ).

Одним из недостатков систем «глинистый грунт – гидрофобизирующее ПАВ» является их низкая водоустойчивость. При помещении образцов в воду они теряют прочность и полностью разрушаются.

Для оценки влияния T-RRP на прочностные характеристики, т. е. при определении сопротивления сдвигу лессовых грунтов использовали прибор Маслова-Лурье (ТП-30) [1].

Уплотнение грунта производилось без бокового расширения в стандартном кольце от сдвигового прибора. Образцы грунта подготовлены следующим образом. Предварительно высушенный грунт просеивали через сито  $d = 2$  мм и увлажняли до 0,55, 0,60, 0,65, 0,70 Вт. Для равномерного распределения влаги увлажненный грунт подержали в эксикаторе. После 24 часов подготавливали образцы, уплотненные до плотности 0,94, 0,95, 0,96, 0,97, 0,98 и  $1,0^{opt_{max}}$ .

На рис. 3а, б, в, г показаны подготовки образцов грунта со стабилизаторами в лабораторных условиях.

Ставят кольцо с грунтом на прибор и дают вертикальную нагрузку. При помощи вертикальной нагрузки грунт сжимается. Потом дают постепенно горизонтальную (сдвигаю-

Рис. 1. Зависимость плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении супеси: 1 – для воды; 2 – для водного раствора стабилизатора Рoadбонд оптимальной концентрации; 3 – то же для стабилизатора T-RRP

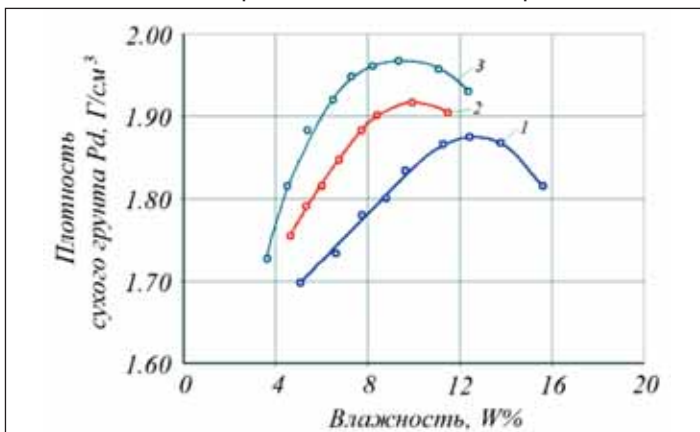


Рис. 2. Зависимость плотности сухого грунта от влажности при стандартном уплотнении суглинка: 1 – для воды; 2 – для водного раствора стабилизатора Рoadбонд оптимальной концентрации; 3 – то же для стабилизатора T-RRP

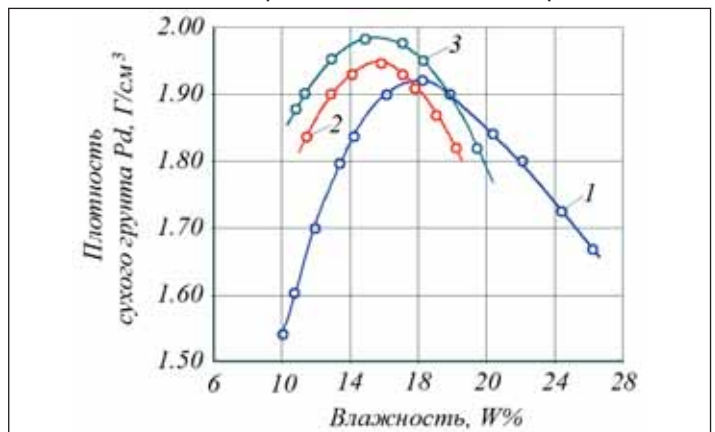


Таблица 2

## Расчетные характеристики лессовых грунтов без стабилизатора

Грунт	Коэффициент уплотнения $K_y$	Расчетные характеристики, при расчетной влажности, доли $W_T$			
		0,55	0,60	0,65	0,70
Супеси пылеватые	0,94	70/31 0,031	67/27 0,028	62/24 0,024	58/23 0,019
	0,96	76/31 0,039	73/27 0,036	69/24 0,031	65/23 0,027
	0,98	86/31 0,049	82/27 0,044	77/24 0,040	74/23 0,036
	1,00	96/31 0,060	91/27 0,054	89/24 0,049	84/23 0,043

Таблица 3

## Расчетные характеристики лессовых грунтов со стабилизаторами

Грунт	Коэффициент уплотнения $K_y$	Расчетные характеристики, при расчетной влажности, доли $W_T$			
		0,55	0,60	0,65	0,70
Супеси пылеватые	0,94	78/33 0,036	75/28 0,032	69/25 0,028	65/24 0,022
	0,96	85/33 0,045	82/28 0,041	77/25 0,036	73/24 0,031
	0,98	96/33 0,056	92/28 0,051	86/25 0,046	83/24 0,041
	1,00	107/33 0,069	102/28 0,062	100/25 0,056	94/24 0,049

Примечание: 1. В числителе: слева – модуль упругости, МПа; справа угол внутреннего трения, град.; знаменатель – удельное сцепление, МПа.

щую) нагрузку до тех пор, пока грунт не сдвинется. Это испытание производят 3 раза при вертикальном весе груза равном 2, 4 и 6 кг.

По полученным результатам можно сделать следующий вывод: у грунтов, обработанных стабилизатором, увеличивается угол внутреннего трения и сцепления.

На основе метода математического планирования эксперимента, нами получены уравнения регрессии, характеризующие изменения расчетных характеристик лессовых грунтов без стабилизатора в зависимости от коэффициента уплотнения, расчетной влажности и числа пластичности, которые позволили сделать некоторые важные выводы.

Результаты экспериментальной работы по определению расчетных характеристик лессовых грунтов – модуль упругости ( $E$ ) в зависимости от коэффициента уплотнения ( $K_y$ ), расчетной влажности ( $W_p$ ) и числа пластичности ( $I_p$ ) в дальнейшем будем называть факторами.

$$E = f(K_y, W_p, I_p). \quad (1)$$

Удельные нагрузки на лессовые грунты земляного полотна прикладывали в соответствии с предложением [1]. В зависимости от влажности грунтов при испытании и способа нагружения удельные нагрузки имели значения 0,03–0,2 МПа.

Поскольку распределение численных значений модулей упругости лессовых грунтов по результатам их испытаний обычно достаточно близко к нормальному [7], для определения расчетного значения модуля упругос-

ти грунта при данной влажности  $E_{ГР}$  можно рекомендовать следующую зависимость:

$$E_{ГР} = E_{СРГР} (1 - C_{vE} \cdot K_B), \quad (2)$$

где  $E_{СРГР}$  – среднее значение модуля упругости грунта при данной влажности, МПа;

$C_{vE}$  – коэффициент вариации модулей упругости, зависящий от относительной влажности;

$K_B$  – коэффициент, зависящий от допускаемой вероятности значений модуля – ниже данного  $E_{ГР}$ , по [7]  $K_B = 1$ .

Наряду с определением статических и динамических модулей упругости рабочего слоя земляного полотна на опытном участке и на существующих автомобильных дорогах, устанавливали прочностные характеристики лессового грунта – угол внутреннего трения и сцепление непосредственно на опытной секции с помощью специально сконструированного и изготовленного нами прибора одноплоскостного вращательного среза (а.с. № 1678969) [6].

Прочностные характеристики, определенные прибором одноплоскостного вращательного среза, для контроля сопоставляли со значениями угла внутреннего трения и удельного сцепления, полученного в лабораторных условиях прибором Маслова-Лурье, при испытании отобранных с места строительства монолитов грунта.

После статистической обработки, обобщенные и осредненные (табл. 2 и 3) значения модуля упругости, сцепления и угла внутреннего трения лессового грунта, определенные в лабораторных и полевых условиях,

в зависимости от коэффициента уплотнения и расчетной влажности с учетом выше указанных коэффициентов вариации были рекомендованы как расчетные значения.

Для расчета толщины дорожной одежды, зная расчетную влажность, коэффициент уплотнения и тип грунта, можно воспользоваться формулами (2) и (3), в которых учтены расчетные значения модулей упругости. Нами сделана попытка получить аналитическую зависимость модуля упругости от отмеченных выше показателей, позволяющую более точно определить его значения.

Сравнение приведенных цифровых значений 14 МПа и 26 МПа позволяет сделать вывод о том, что модуль упругости грунтов при  $I_p = const$ , особое влияние оказывает плотность грунтов, далее влажность грунтов при испытании.

Полученные таким образом характеристики лессовых грунтов рабочего слоя со стабилизатором и без стабилизатора от коэффициента уплотнения  $K_y$  и влажности грунтов при испытании  $W_p$  имеют вид:

• без стабилизаторов:

$$\left. \begin{aligned} E^{без} &= E_0(1,625 - 1,4W_p) + \Delta E_y(17,24K_y - 16,21) \\ C^{без} &= C_0(2,45 - 2,61W_p) + \Delta C^1(16,67K_y - 15,66) \\ \varphi^{без} &= \varphi_0(2,06 - 1,935W_p) \end{aligned} \right\}; (3)$$

• со стабилизаторами:

$$\left. \begin{aligned} E^{со} &= E_0(1,80 - 1,22W_p) + \Delta E_y(19,13K_y - 17,99) \\ C^{со} &= C_0(2,52 - 2,68W_p) + \Delta C^1(17,17K_y - 16,12) \\ \varphi^{со} &= \varphi_0(2,38 - 2,24W_p) \end{aligned} \right\}; (4)$$

где  $E_0 = 72$  МПа;  $\Delta K_y = 26$  МПа;  $C_0 = 0,031$  МПа;  $\Delta C^1 = 0,029$  МПа;  $\varphi_0 = 31^\circ$ .

Чтобы убедиться, что полученное уравнение действительно с достаточной точностью описывает изучаемый процесс, определяли дисперсией неадекватности и дисперсией воспроизводимости.

Результаты исследований свойств грунтов и пробные расчеты конструкции дорожных одежд свидетельствуют о том, что при расчете дорожных одежд прочность в условиях засушливого климата и использовании лессовых грунтов при расчетной влажности и требуемом коэффициенте уплотнения критерий сдвигаустойчивости (в соответствии с МКН 46-08[7]) практически всегда обеспечивается. В худшем случае (при влажности 0,7  $W_0$ )  $\tau_{доп}/\tau = 4$  и условие  $K_{np} < \tau_{доп}/\tau$  (где  $K_{np}$  – минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности;  $\tau_{доп}$  – допустимое напряжение сдвига в грунте;  $\tau$  – активное напряжение сдвига в грунте от действия кратковременной или длительной нагрузки) выполняется.

В реально применяемых конструкциях при снижении влажности уплотнения модуль упругости (при расчетной влажности) существенно повышается (до 18 %), что отражается на конструкции дорожной одежды, рассчитанной по критерию упругого прогиба. Поэтому в этих условиях модуль упругости является в большинстве случаев определяющим.



Рис. 3. Подготовка образца грунта со стабилизаторами для определения прочности характеристик: а – подготовка Т-RRP; б – смешение грунта с Т-RRP; в – проверка водонасыщения; г – прибор ГПП-30 Маслова-Лурье

1. Экспериментальные исследования, проведенные в лабораторных условиях, показали, что при применении стабилизатора Т-RRP оптимальная влажность у супесей снижается на 25 %, а максимальная плотность сухого грунта возрастает на 3 %.

2. В системе «лессовый грунт – Т-RRP» оптимальная влажность снижается в 2 раза по сравнению с необработанным грунтом.

3. Объем величины деформации (деформируемости) пучения грунта, обработанного стабилизатором, на 11,5 % меньше общей величины деформации пучения грунта, не обработанного стабилизатором.

4. Следствием более высокой степени уплотнения грунтов, обработанных стабилизаторами, и понижения влажности является снижение деформируемости, повышение устойчивости к неблагоприятным геологическим процессам.

5. Экономический эффект применения стабилизатора Т-RRP может достигать 30 % от стоимости дороги за счет применения местных стабилизированных грунтов, возможности снижения толщины дорожной

одежды или повышения её долговечности вследствие роста прочности обработанных стабилизатором грунтов.

#### Ключевые слова

Стабилизация, гидрофобизация, поверхностно-активные вещества, лёссовые грунты, прочность при сжатии, прочность при изгибе, водоустойчивость, набухание, цемент, органические вяжущие.

*Stabilization, hydrophobization, surfactants, loess soils, compressive strength, flexural strength, water resistance, swelling, cement, organic binders.*

#### Список литературы

1. Худайкулов Р. М. Применение стабилизаторов для улучшения свойств связных грунтов. Диссертация на соискание ученой степени магистра наук – Ташкент: 2011 г., –75 с.
2. Каюмов А. Д., Худайкулов Р. М., Усманова А. Применение стабилизаторов для улучшения свойства грунтов. – Ташкент: труды ТАДИ, 2010. Ч. 1, 208-211 с.

3. Бабаскин Ю. Г. Укрепление грунтов инъектированием при ремонте автомобильных дорог. – Минск: УП Технопринт 2002 г., –177 с.

4. Кочеткова Р. Г. Особенности улучшения свойств глинистых грунтов стабилизаторами. Кочеткова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2006 г. № 3. – С. 23–27.

5. ГОСТ 22733-77. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Введ 01.07.78. М.: Изд-во стандартов, 1987 г.

6. А. с. № 1678969./ Устройство для определения свойств грунтов. Бюлл. Изобр. 1991. № 35.

7. Казарновский В. Д. Оценка сдвигоустойчивости связных грунтов в дорожном строительстве. – М.: Транспорт. 1985–168 с.

8. МКН 46-2008. Инструкция по проектированию нежестких дорожных одежд. – Ташкент, 2008 г. –246 с.

#### Для связи с авторами

Худайкулов Рашидбек Мансуржанович  
Rashidbek\_19\_87@mail.ru  
Мирзаев Тохиржон Лутфуллаевич  
khdilrabo99@gmail.com

# СОВРЕМЕННАЯ РОЛЬ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА МЕГАПОЛИСОВ

## MODERN ROLE OF ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF MEGACITIES UNDERGROUND SPACE

**М. С. Захаров**, профессор Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета (СПб ГАСУ)

**Е. М. Пашкин**, профессор Московского геологоразведочного института (МГРИ-РГГРУ)

**M. S. Zakharov**, Prof. of Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)

**E. M. Pashkin**, Prof. of Moscow geological exploration Institute (MGRI)

**Авторы статьи постулируют взгляды на современное положение гидрогеологии и инженерной геологии на основе своего многолетнего опыта научной и преподавательской деятельности. Дается краткая историческая справка о становлении отечественной гидрогеологии и инженерной геологии. Анализируются основные достижения гидрогеологии и инженерной геологии, определяющие их место в науках о Земле. Излагаются взгляды авторов на состояние дел научной и практической работы в области гидрогеологических и инженерно-геологических исследований, в частности, дан анализ негативных факторов в инженерных изысканиях для строительства подземных сооружений, в деле подготовки инженерных кадров. Сформулированы некоторые рекомендации по дальнейшему развитию науки и практики в области гидрогеологии и инженерной геологии.**

*The authors postulate their views on the current state of Engineering Geology on the basis of their many years of experience in research and teaching. A brief historical background on the formation of Russian Engineering Geology is given. The main achievements of Engineering Geology determining her position in the Earth Sciences are analyzed. The authors consider the state of scientific and practical work in hydrogeological and engineering-geological studies, the negative factors in engineering research and surveys for construction, in the training of engineering personnel. Some recommendations on further development of science and practice for Engineering Geology are formulated. Contradictory trends in the further development of Engineering Geology are noted.*

**В** XX веке – времени расцвета индустриального общества, науки о Земле, в том числе инженерная геология и гидрогеология внесли весомый вклад в расцвет технологической цивилизации, решая задачи поисков, разведки и эксплуатации различных видов природных ресурсов – твёрдых, жидких, газообразных, а также задачи рационального использования и охраны геологической среды при подземной урбанизации как необходимого условия для устойчивого развития мегаполисов.

За короткий промежуток времени эти научные дисциплины не только обеспечили разнообразие практические запросы строительной деятельности, но и создали учение о формировании и изменении инженерно-геологических условий в различных природных и структурно-тектонических зонах страны. Накопленный опыт строительства и эксплуатации различных зданий и сооружений, опыт производства инженерных работ на поверхности и под землей, осмысление условий строительства и сохранения различных сооружений позволили сформулировать основные постулаты

рационального использования и охраны геологической среды.

### Становление и развитие гидрогеологии и инженерной геологии в России

В России основы гидрогеологии и инженерной геологии были заложены еще в XIX в. и стали активно развиваться в начале XX в. деятельностью таких ученых как В. М. Севергин, И. В. Мушкетов, С. Н. Никитин. Курс гидрогеологии в Петербургском горном институте начал преподавать ещё в 1918 г. А. Д. Стопневич. Программу курса этот прозорливый учёный написал в 1916 г. Первые дипломные работы студентов по гидрогеологической тематике стали защищаться с 1920 г. Инициатором создания учебных специальностей по гидрогеологии и инженерной геологии в 1929 г. выступил Геолком России. Осенью 1929 г. началась ускоренная подготовка специалистов в области гидрогеологии и инженерной геологии [1].

С 1930 г. одновременно в Ленинградском гидротехническом институте Энергоцентра проф. А. А. Тельфером и в Московском геологоразведочном институте проф. Ф. П. Саваренским было начато преподавание курса

«Инженерная гидрогеология», столь важного для инженерно-геологической практики строительства тоннелей.

1929–1930-е годы с полным правом можно отнести ко времени становления и развития гидрогеологии и инженерной геологии, у истоков которых стояли многие выдающиеся учёные, прежде всего Ф. П. Саваренский, В. А. Приклонский, Г. Н. Каменский, П. И. Буттов. Именно они заложили фундамент отечественной гидрогеологии и инженерной геологии в таких учебных заведениях как Ленинградский горный институт, Московский геологоразведочный институт, Ленинградский государственный университет, при этом в Ленинграде эти новые направления геологической науки и практики поддерживались авторитетом и участием такой организации как Геолком (ВСЕГЕИ), который объединял ведущих геологов страны. Таким образом, соответствующие профильные кафедры были укомплектованы кадрами самой высокой квалификации. В эти годы будущий академик Ф. П. Саваренский постоянно курсировал между Москвой и Ленинградом, обеспечивая преподавание сразу на нескольких кафедрах ведущих вузов страны [2].



Постепенно сложились две научные, тесно взаимодействующие школы – ленинградская в Ленинградском горном институте и московская в Московском геологоразведочном институте. Соперничество этих вузов было либо мирным и взаимно обогащающим. Каждый вуз стремился использовать свои ресурсы – кадры, традиции, материально-техническую базу, опыт, научные разработки. Дальнейшее существование и развитие указанных школ и в настоящий момент требует постоянного внимания и заботы профессионального сообщества.

Тревожными выглядят тенденции подменить инженерную геологию геотехникой. Последняя ни в коем случае не может обеспечить широкий природоведческий подход к решению строительных задач. Однако следует признать, что в инженерной геологии необходимо усилить начальный образовательный геотехнический компонент за счёт удлинения сроков обучения в вузах и техникумах. Вопрос об этом несколько раз поднимался в истории инженерной геологии со времён Ф. П. Саваренского, но окончательного решения так и не получил. Наоборот, массовое внедрение бакалавриата в вузовскую подготовку резко снизило начальный образовательный уровень гидрогеологов и инженеров-геологов. Внедрение в учебный процесс каких-то «куцых» ознакомительных курсов по гидрогеологии и инженерной геологии для многих специальностей геолого-географического направления подрывают значимость этих разделов науки о Земле, снижают интерес молодёжи к освоению этих специальностей.

В послевоенные годы инженерная геология получила новый мощный импульс развития, связанный с бурным расцветом промышленного и гражданского строительства. В этот период неоценимый вклад в развитие и международное признание отечественной инженерно-геологической школы внесла кафедра грунтоведения и инженерной геологии (ныне кафедра инженерной и экологической геологии) Московского государственного университета во главе с академиком Е. М. Сергеевым. Труды Е. М. Сергеева и его многочисленных учеников во многом определяют содержание и методологию современной отечественной инженерной геологии, что закреплено в 1985–1986-х годах изданием четырёхтомной монографии [3].

Следует подчеркнуть, что отечественная инженерная геология не только обеспечила разнообразные практические запросы строительной деятельности, но и создала ряд уникальных научных направлений в области формирования состава и свойств горных пород (грунтов), в области управления механизмами геологических процессов. Не были забыты просторы океанического дна, шельфовых окраин, и даже грунты Луны. Накопленный опыт строительства и эксплуатации подземных сооружений, опыт производства горных работ в сложных инженерно-геологических условиях позволил сформулировать основные постулаты рационального ис-



Центральный корпус Санкт-Петербургского горного университета

пользования и охраны геологической среды. Можно сказать, что инженерная геология первой из семейства геологических наук стала ставить и решать задачи рационального использования и охраны геологической среды в разнообразных ландшафтно-климатических и структурно-тектонических условиях. Особенностью отечественной гидрогеологии и инженерной геологии всегда была тесная связь научных разработок и практики как в области поисков и разведки подземных вод, так и в области различных видов строительства. В настоящее время, как справедливо отметили в 2016 г. В. Т. Трофимов и Н. С. Красилова, инженерно-геологическая наука стоит на пороге планетарных обобщений, вытекающих из рассмотрения закономерностей формирования и пространственного распределения инженерно-геологических условий различных структурных зон земной коры [4].

**Основные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии в постиндустриальную эпоху**

Новейший этап развития России, начавшийся с начала 90-х годов XX столетия, в корне изменил положение и роль инженерной геологии и гидрогеологии в хозяйственной жизни страны.

В строительном комплексе фактически произошла замена полномасштабного инженерно-геологического и гидрогеологического обоснования проектов, включая научно-исследовательский компонент, утилитарными и жёстко нормированными инженерно-геологическими изысканиями, при этом традиционные исследования состава и свойств горных пород, были искусственно вычленены в так называемые инженерно-геотехнические изыскания. Гидрогеологическими исследованиями в строительстве вообще принято пренебрегать, сводя их к примитивным расчётам коэффициентов фильт-

Центральный корпус Московского геологоразведочного института



рации и оценке агрессивности подземных вод к бетонам и металлам.

Резко сократилось техническое и технологическое обеспечение гидрогеологических и инженерно-геологических исследований со стороны отечественной промышленности, которая без боя уступила перспективные направления в бурении, геофизике, лабораторной технике, в геологии и гидрогеологии полевых установках зарубежным фирмам и технологиям, особенно в области металлообработки и приборостроения, измерительной техники, компьютерного и программного обеспечения. Фактически гидрогеологи и инженер-геологи не принимают участия в выработке политики обеспечения их исследований современными приборами, станками, компьютерными программами и т. п. Инновационные методы в основном заимствуются из других стран, но на пути их внедрения часто возникают административно-бюрократические препоны.

Особенно тревожное положение складывается в области кадровой политики. Внедрение в высшее образование страны Болонской системы (2003 г.) подорвало нормальную подготовку и воспроизводство инженерного корпуса, способного не только решать рутинные задачи, но и творчески анализировать и осмысливать нестандартные инженерно-геологические и гидрогеологические обстановки до уровня обоснованных оценок, расчётов и рекомендаций. В строительном комплексе, как на уровне соответствующего министерства, так и на уровне различных проектно-строительных фирм, наивно полагают, что такие специалисты полноправно могут работать в инженерных изысканиях и обеспечивать высокий уровень подготовки проектной документации

для любого вида строительства. Неудивительно, что качество таких изысканий не соответствует всё возрастающей сложности строительных задач. Причины и следствия здесь весьма очевидны! Адекватность движения и обучения молодых поколений возможна, если мы сохраним жизненность инженерной геологии и гидрогеологии, способных помимо классических инженерных задач решать проблемы, поставленные в современную постиндустриальную эпоху.

Последними островками нормальной гидрогеологической и инженерно-геологической подготовки остались кафедры вузов, реализующие нестандартные учебные планы для инженерной специализации «Поиски, разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» для весьма ограниченного контингента учащихся. В целом, преподавание курсов гидрогеологии и инженерной геологии «размазано» по многим специальностям в укрупнённой группе наук о Земле по направлению «Практической геологии» и сведено до минимума на уровне знакомства и поверхностного освоения. Быстро деградируют традиции подготовки инженерных кадров высокого уровня. Отсутствие научно обоснованных учебных программ как в первом базовом образовании, так и в дополнительном послевузовском образовании, приводит к тому, что дезориентированные специалисты различных направлений выбирают случайные и поверхностные курсы повышения квалификации, где им преподносят компетенции, весьма далёкие от реальных проблем инженерной геологии и гидрогеологии. В этой области положение дел усугубляется конъюнктурными образовательными программами и технологиями, находящими-

ся в открытом доступе в Интернете. В отраслевых проектно-строительных организациях всё более укрепляется мнение, что качество материалов инженерных изысканий можно обеспечить исключительно ужесточением контроля. Создаются целые контрольные подразделения, работников которых специально обучают, каким образом отличать качественную гидрогеологическую и инженерно-геологическую информацию от фальсификаций и приписок. Ещё одна сторона этой проблемы заключается в том, что подготовка преподавательских кадров высшей квалификации через магистратуру носит весьма ограниченный и «штучный» характер, в результате скоро некому будет выполнять трудоёмкую работу по подготовке инженерного корпуса специалистов высокой квалификации. Невежество учителей неизбежно будет множить невежество учеников.

В послевузовском образовании очень важны семинары и практики, непосредственно связанные с работой в поле. Без этого элемента обучения невозможен эффективный контроль изыскательского процесса. В отраслевых проектно-строительных организациях всё более укрепляется мнение, что качество материалов инженерных изысканий можно обеспечить исключительно ужесточением контроля. Создаются целые контрольные подразделения, работников которых специально обучают, каким образом отличать качественную гидрогеологическую и инженерно-геологическую информацию от фальсификаций и приписок.

Экономика строительства, зажатая в рамках противоречивой по своей сути закупочной системы услуг, к которым были отнесены все виды инженерных изысканий, в том числе и инженерно-геологических, начисто лишила перспектив материального достатка и планирования профессиональной карьеры всех специалистов, занятых в этой области хозяйственной деятельности. Нормальное существование и развитие изыскательских организаций обескровливается необходимостью создания различных фондов для компенсации возможных!? ущербов заказчиков инженерных изысканий, хотя эти ущербы возникают отнюдь не на уровне изысканий, а на завершающих уровнях проектирования и строительства. Ложные приоритеты поддержки малого бизнеса в изыскательской деятельности привели к тому, что на рынке подобного рода господствуют мелкие фирмочки ограниченной ответственности (ООО), научно-технический потенциал которых просто не позволяет им выполнять качественные инженерные изыскания. Уровень подготовки и знаний специалистов, работающих в таких подразделениях, лучше не обсуждать. Внедрение системы саморегулирования и поголовного нормирования в инженерных изысканиях только усугубило это положение дел. Можно констатировать, что инженерные изыскания в строительстве превратились в область хронического недофинансирования и связанных с этим массо-

Слушатели курсов повышения квалификации АО «Газпромнефть» (контрольно-ревизионное управление) на Саблинском полигоне знакомятся с геологией Северо-Западного региона Русской равнины



вых приписок, коррупционных схем, нищеты и депрессии.

**Новые вызовы и новые решения**

Однако вряд ли можно считать, что следует окончательно «похоронить» гидрогеологическую и инженерно-геологическую науку, превратив их в случайные придатки утилитарных инженерных изысканий. Необходимость сохранения и развития научного и методологического потенциала инженерной геологии и гидрогеологии, созданного предшествующими поколениями, обусловлена, прежде всего, сложностью развития человеческой цивилизации в XXI в. [5].

В индустриальную эпоху в ответ на агрессивное и нерациональное использование всех видов природных ресурсов, в ответ на командно-императивные принципы строительства были сформулированы экологические планетарные законы, определяющие взаимодействие Человека и Природы [6]:

- всё связано со всем;
- всё должно куда-то деться;
- природа знает лучше;
- за всё надо платить.

Осознание этих законов, протекающее с большими издержками и неизбежными потерями, позволило в постиндустриальную эпоху сформулировать новую парадигму развития, основанную на принципах развития «зелёной экономики», которые могли бы обеспечить устойчивое развитие любой территории в рамках гармонизации экономических, социальных и экологических параметров.

Указанные положения позволяют сформулировать основные принципы инженерно-геологической деятельности в связи с задачами строительства и производства инженерных работ, с проблемой сохранения созданной хозяйственной инфраструктуры:

- использовать территории, строить сооружения и производить инженерные работы необходимо в соответствии с организацией и свойствами геологической среды, в полной мере учитывая специфику ее структурно-тектонического устройства;
- инженерная деятельность человека должна основываться на знании законов и закономерностей развития геологических процессов и явлений в направлении управления этими процессами и минимизации геологических опасностей в любой точке;
- при проектировании сооружений и использовании геологической среды инженерные изыскания должны обеспечивать выбор самых оптимальных и экономичных инженерных решений и гарантировать эксплуатацию создаваемой хозяйственной инфраструктуры от всяких геологических рисков и катастроф;
- строительству любых инженерных сооружений всегда предшествует их проектирование, которое выполняется по материалам инженерных изысканий, в составе которых инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания должны занимать центральное место. Осмысление условий

строительства всех сооружений должно осуществляться индивидуально для каждого объекта с учетом особенностей инженерно-геологических, гидрогеологических и климатических условий строительной площадки, конструктивных решений и эксплуатационных требований, предъявляемых к подземной части здания, обеспечения охраны окружающей среды и создания безопасных условий жизни населения;

- система инженерно-геологических изысканий (ИГИ) должна обеспечивать выбор оптимальных, технически целесообразных и экономически наиболее выгодных инженерных решений с учётом общих проблем рационального использования и охраны геологической среды освоенных территорий. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования уже на стадии камеральной проработки и обсуждения должны отсекают «эпохальные» проекты перестройки природной среды, подобные проекту поворота северных рек на юг, задуманного ещё в советское время, но с другой стороны, должны быть готовы к решению действительно глобальных проблем развития мегаполисов и освоения их подземного пространства;

• ИГИ составляют сущность инженерной геологии, которая не может существовать вне научных поисков и инновационных исследований. В современную эпоху институциональная инженерная геология может успешно функционировать только на базе последних достижений информатики, автоматизации и компьютеризации своих исследований, ибо она должна предоставлять необходимую и достаточную геопрозрачную информацию о строении и свойствах геологической среды. Современные ИГИ представляют собой систему изучения инженерно-геологических условий территорий или акваторий, включающую в себя получение, обработку, структурирование, осмысление, хранение и передачу геологической информации потребителю, при этом ИГИ предполагают выполнение необходимых научно-производственных исследований по заданному плану, в определённой последовательности в соответствии со стадиями проектирования и строительства сооружений. Теоретические основы ИГИ должны базироваться на закономерностях формирования инженерно-геологической структуры местности, её неоднородности и изменчивости, на знании и анализе причинно-следственных связей, механизмов и динамики природных и техногенных геологических процессов;

- продукция инженерных изысканий должна рассматриваться как осмысленная понятийная категория информационного содержания, т. е. как геопрозрачная информация в оболочке графоаналитической модели территории, способная представить структуру сферы взаимодействия с проектируемым сооружением. И только после этого можно разрабатывать цифровую модель взаимодействия элементов проектируемой природно-технической системы «со-

оружение – геологическая среда», подготавливая, таким образом, разработку проектировщиками цифровых моделей объекта, которые в дальнейшем определяют содержание паспорта сооружения для всех стадий существования объекта: от абстрактной идеи до реального строительства, эксплуатации, ремонта и утилизации. При этом сама цифровая модель объекта просто невозможна без надёжной понятийной категории моделей, наделенных выявленными причинно-следственными связями, без системы геодезических, инженерно-геологических и гидрогеологических данных, переплавленных в модельную форму. Набор таких моделей и должен составлять сущность BIM-проектирования (Building Information Modeling) в границах полнозаданного цикла создания любого строительного объекта;

- тесное взаимодействие всех участников строительного процесса – заказчиков, изыскателей, проектировщиков, экспертов и строителей должно обеспечивать гармонизацию экономического, социального и экологического факторов на длительную перспективу для проектируемых объектов.

Для столь масштабной реализации инженерно-геологической деятельности, прежде всего, нужны высококвалифицированные кадры, дефицит которых стремительно растёт. В области инженерной геологии и гидрогеологии налицо снижение качества профессионального образования за счет его избыточной формализации, значительного сокращения числа высокопрофессиональных преподавательских кадров на всех уровнях образования, включая высшее профессиональное, за счет снижения уровня учебных планов, сокращения учебных и производственных практик. Научные исследования в отрасли практически не ведутся. Кинула в Лету Лаборатория гидрогеологических проблем имени Ф. П. Саваренского, единственный научно-исследовательский институт в области инженерной геологии и гидрогеологии – ВСЕГИНГЕО развалился. В подобной ситуации оказались крупные проектно-изыскательские институты Гидропроект, Фундаментпроект, Метрогипротранс и ряд других, научно-исследовательские сектора которых перестали функционировать.

В результате призрачными становятся не только планы создания и развития «зелёной экономики», но и реализация многочисленных программ развития самого строительного комплекса, в частности, создание инфраструктуры и кадрового потенциала, необходимых для внедрения в отечественный строительный комплекс новых технологий, для разработки разумных национальных стандартов и инновационных форм проектирования и строительства. В целом строительство, лишённое научно-обоснованных ограничений, стремится к реализации проектов за рамками разумности, например, строительство зданий высотой 1000 м и более. Человечество вообще перестало считаться с какими-либо природными ограничениями, впало

в эйфорию вседозволенности в деле эксплуатации природных ресурсов, регулярно наступающая на одни и те же грабли при решении вопросов безопасности, комфорта и эстетики своей хозяйственной и социальной инфраструктуры. Эти тенденции, поддерживаемые ощущением безграничных технологических возможностей и безграничных природных ресурсов, постепенно всё шире распространяются и на отечественной почве [7].

На этом фоне наивно выглядят попытки подтолкнуть поиски инноваций в строительстве и одновременно минимизировать строительные риски с помощью поголовной стандартизации и нормирования. Всё убаюкивающий технический прогресс, наоборот, ломает привычные рамки норм быстро текущего опыта, и мы уже не можем с уверенностью утверждать, где та тонкая грань, которая отделяет прогрессивное от безумного риска, например, проектирование линии Московского метрополитена, соединяющей станцию «Деловой центр» с «Третьяковской», по прямой линии через два слабо изученных эрозионных вреза р. Москвы.

На этом фоне инженерная геология и гидрогеология, потенциал которых в полной мере должно использовать строительство подземных сооружений, становятся заложницами большого количества благоглупостей, содержащихся во многих нормативных документах, разрабатываемых в строительной индустрии. Эти нормативы сковывают изыскателей, проектировщиков, строителей, не нацеливают инженер-геологов и гидрогеологов на совместную с ними деятельность, о чем в свое время писали многие специалисты. Разрабатываемые профессиональные стандарты просто охватывают некоторое смысловое поле, нашпигованное требованиями такого объёма знаний, которым не может овладеть ни один специалист. Возникает закономерный вопрос, почему, например, использование современных методов проходки тоннелей с помощью механизированных комбайнов в мире позволяет в условиях, схожих с московскими, сооружать 200–250 м готового тоннеля за неделю, а у нас же такие расстояния удается пройти за месяц? Очевидно, инновационный путь развития гидрогеологии и инженерной геологии, особенно в плане практических разработок, требует определённой свободы творчества, но какова должна быть свобода творчества в области, например, инженерных изысканий, где каждый производственный процесс пытаются максимально стандартизировать. Ответить на этот вопрос чрезвычайно трудно вне научных исследований и обобщений. Вероятно, ответ кроется в «системоделятельном» подходе (по Г. П. Щедровицкому), когда производственный процесс выстраивается как подвижная и постоянно функционирующая структурообразующая система обратных связей. Такая система должна интегрировать в себе и нормативные уложения, фиксирующие эти иерархически упорядоченные связи, и творческую энергию исполнителей [8].

В настоящее время изыскательский процесс строится только на основе бурения, где на проходку нормированного числа скважин уходит драгоценное время и основные финансовые затраты. Экспертиза согласовывает проекты только руководствуясь, прежде всего, нормативами по количеству скважин. В Москве в пределах МКАД уже пробурено около 1,5 млн скважин, такая же ситуация во всех крупных мегаполисах страны. В тоннелестроении только обобщение, оцифровка архивных графических материалов и статистическая обработка полученных цифровых данных с высокой степенью надежности могли бы обеспечить получение расчетных параметров по всем грунтам, которые встречаются при проходке тоннелей. Серьезная проблема кроется также в том, что из проектного процесса полностью выпала стадия рабочей документации, позволяющая эффективным образом получать и осмысливать обратную информационную связь, раскрывающую структуру взаимодействия проектировщиков и изыскателей. Получается, что основная деятельность изыскателей сводится к односторонней визуализации геологической среды – карты, разрезы, таблицы, а не к ее осмыслению при оценке условий взаимодействия строительства тоннелей с геологической средой. В результате инженер-геолог все больше отдаляется от проектировщика и строителя. Если раньше они имели возможность излагать геологу свои вопросы, вытекающие из замысла проектного решения, а геолог мог изложить свое видение особенностей геологического строения массива пород, то сейчас все за них выполняют нормативные документы, никоим образом не связанные с конкретикой проекта и инженерно-геологическими условиями. Региональные документы, регулирующие эту сферу взаимодействия, фактически отсутствуют.

### Некоторые выводы

Существует ли тот «золотой ключик», которым можно открыть темницу, в которой содержатся сегодня инженерная геология и гидрогеология? Поиски ключика связаны, как всегда и во все времена, с позицией «правильных людей».

Основные аспекты этой проблемы недавно были проанализированы в статье «Правильные люди должны делать правильное дело правильными методами» [9]. Где же искать этих «правильных людей»? Это, конечно, молодые энергичные и состоявшиеся специалисты в области инженерной геологии и гидрогеологии, которым небезразлично дело, которому они служат. В нашу эпоху открытости и Интернета таких людей мог бы называть каждый регион России, а Независимый Электронный Журнал «Геоинфо» мог бы регулярно публиковать портфолио таких специалистов. Площадкой их объединения, разработки конкретных планов действия и конкретной научно-исследовательской работы могли бы служить школы молодых специалистов, наподобие тех, которые реализу-

ет Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет для геотехников (см. новости Товарищества Сибирских геотехников) или научные студенческие отряды, которые были созданы при кафедре инженерной геологии МГРИ-РГГУ. Организационными центрами притяжения могли бы служить крупные образовательные учреждения, в первую очередь МГУ имени М. В. Ломоносова, Санкт-Петербургский горный университет, МГРИ-РГГУ им. С. Орджоникидзе, НИУ МГСУ, Пермский ГНИУ, Воронежский ГУ, Уральский горный университет при условии, что названные центры создадут и будут поддерживать высокий уровень образовательных программ не только для специалистов (инженеров) базового уровня, но и руководящих кадров изыскательских организаций, программ, в полной мере учитывающих всё многообразие технических, экономических, экологических и социальных составляющих для территории России.

### Ключевые слова

Инженерная геология, инженерно-геологические исследования, инженерно-геологические изыскания.

*Engineering geology, engineering-geological researches, engineering surveys.*

### Список литературы

1. Кирюхин В. А., Толстихин Н. И. *Жизнь и творческий путь 1896-1992*. СПб.: изд. СПб ГТУ, 2006. – 140 с.
2. Ломтадзе В. Д. *Инженерная геология. Инженерная петрология*. Л.: Недра, 1984. – 511 с.
3. *Теоретические основы инженерной геологии. В 4-х частях. Под ред. акад. Е. М. Сергеева М.: Недра. 1985–1986.*
4. Трофимов В. Т., Красилова Н. С. *Результаты формирования современных теоретических основ региональной инженерной геологии и задачи их дальнейшего развития*. Ж. *Инженерная геология*, № 5, 2016. С. 4–9.
5. Трофимов В. Т. *О крупных фундаментальных потерях инженерной геологии как науки в постреволюционной России (после 1991 г.)*. Ж. *Инженерная геология*. № 6, 2018. С. 6–9.
6. Коммонер Б. *Замыкающийся круг*. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 280 с.
7. Сахаров А. Д. *Мир через полвека. Ж. Вопросы философии*, № 1, 1989.
8. Щедровицкий Г. П. *Путеводитель по методологии Организации, Руководства и Управления. Хрестоматия по работам Щедровицкого*. М.: Дело, 2003. – 94 с.
9. *Правильные люди должны делать правильное дело правильными методами // М. С. Захаров, А. А. Лаврусевич, М. И. Кропоткин. Ж. Инженерные изыскания. Т. XII, № 5–6, 2018, – с. 6–19.*

### Для связи с авторами

Захаров Михаил Сергеевич

zhmike@mail.ru

Пашкин Евгений Меркурьевич

empashkin@yandex.ru





**9 августа 2019 г. доктору технических наук, профессору Юрию Степановичу Фролову исполнилось 80 лет.**

После окончания в 1961 г. факультета «Мосты и тоннели» Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта (НИИЖТа) Юрий Степанович начал свою трудовую деятельность на строительстве первого пускового участка первой линии Бакинского метрополитена. В 1965 г. перешел на научно-педагогическую работу на кафедру мостов и тоннелей НИИЖТа. Закончив аспирантуру на кафедре тоннелей и метрополитенов ЛНИИЖТа, защитил кандидатскую, а затем и докторскую диссертации.

Профессор Ю. С. Фролов является одним из ведущих ученых страны в области строительства и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов.

Научные и практические разработки, выполненные Юрием Степановичем в первые годы научной деятельности, позволили решить ряд проблем, связанных с эксплуатационной надежностью тоннелей на трассе Транссибирской магистрали, а также со строительством тоннелей на Байкало-Амурской магистрали.

Результаты его научных исследований использованы при внедрении новых конструкций односводчатых и колонных станций на линиях метрополитена в Санкт-Петербурге, в том числе при проектировании и строительстве уникальной двухъярусной объединенной пересадочной станции «Спортивная».

Комплекс экспериментально-теоретических и натуральных исследований, выполненный под руководством Ю. С. Фролова, позволил внедрить в производство технологию опережающей крепи с целью минимизации осадок земной поверхности при проходке тоннелей в плотно застроенных районах города. Эта работа отмечена дипломом и почетным знаком Федерального агентства по строительству «За внедрение передовых технологий при освоении подземного пространства».

Практическая значимость работ по обоснованию рациональных методов проходки горных транспортных тоннелей подтверждена при внедрении ее результатов на таких уникальных объектах, как тоннели на автомагистралях «Обход г. Сочи» и «Дублер Курортного проспекта». Руководитель работы получил звание лауреата конкурса Тоннельной ассоциации «Инженер года – 2015» в номинации «Строительство городских и горных автомобильных и железнодорожных тоннелей».

Юрий Степанович – высококвалифицированный педагог, воспитавший несколько поколений грамотных инженеров-тоннельщиков; руководит работой аспирантов и соискателей (шесть человек защитили кандидатские диссертации); опубликовал в печати более 150 научно-методических трудов, в том числе две монографии и четыре учебника.

Как авторитетный ученый и признанный специалист в области подземного строительства Юрий Степанович является почетным членом Тоннельной ассоциации России, членом диссертационного совета в Петербургском государственном горном институте (Техническом университете), участвует в работе экспертных комиссий по вопросам тоннеле- и метростроения.

Долголетняя активная и плодотворная научно-педагогическая деятельность профессора Ю. С. Фролова отмечена знаками «Изобретатель СССР», знаком Министерства транспорта «XXX лет Байкало-Амурской магистрали», знаком ОАО РЖД «Почетный железнодорожник», правительственной наградой «Заслуженный строитель Российской Федерации».

*Правление и Исполнительная дирекция Тоннельной ассоциации России*

# МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПОИСКЕ ТРЕЩИН В ОБДЕЛКЕ ТОННЕЛЯ

В. В. Космин, Российская академия транспорта



Цифровизация процессов измерений в тоннелях приобрела значительные масштабы и постоянно расширяется. Этому способствует развитие измерительных средств на основе современных достижений в области электроники. Примером могут служить сканирующие системы для геометрических измерений в тоннеле [1].

Однако остается нерешенным вопрос полноценного дальнейшего использования получаемой информации. В НИИ Японских железных дорог (RTRI) разработана методика распознавания трещин по материалам цифрового сканирования, основанная на идеях и возможностях искусственного интеллекта («глубокое обучение») и призванная повысить эффективность и точность распознавания трещин в обделке тоннелей как альтернатива визуальным расшифровкам [2].

Сочетая «глубокое обучение» с методами анализа изображений, разработанными до настоящего времени, можно получить улучшенный метод, способный обеспечить возможность обнаружения трещин, сопоставимую с потенциалом человека.

В обычных программах обработки изображений на основе искусственного интеллекта необходимы значительные уси-

ления и ноу-хау для настройки параметров. Кроме того, при обработке изображений трудно удалить информационный шум (кабели и соединения, которые выглядят как трещины). Структура «глубокого обучения» с несколькими промежуточными слоями нейронной сети предусматривает создание и применение дискриминатора

для определения наличия трещин на отдельном участке.

Предложенный метод в основном состоит из процессов «обучения» и «формирования вывода». В процессе обучения последовательно изучается большое количество помеченных изображений с целью выявить конкретные характеристики (общие

Рис. 1. Принципиальная схема «глубокого обучения»

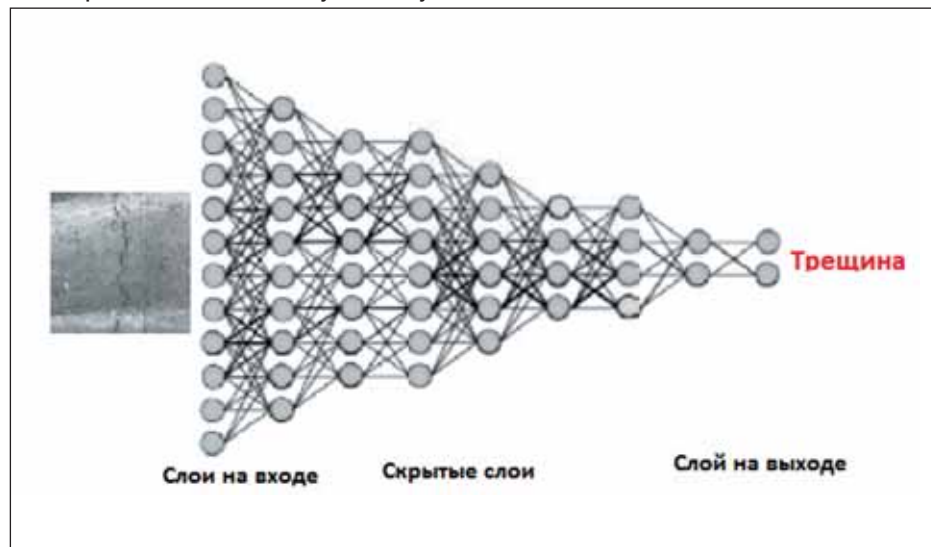




Рис. 2. Технология процесса автоматического распознавания трещин в обделке тоннеля

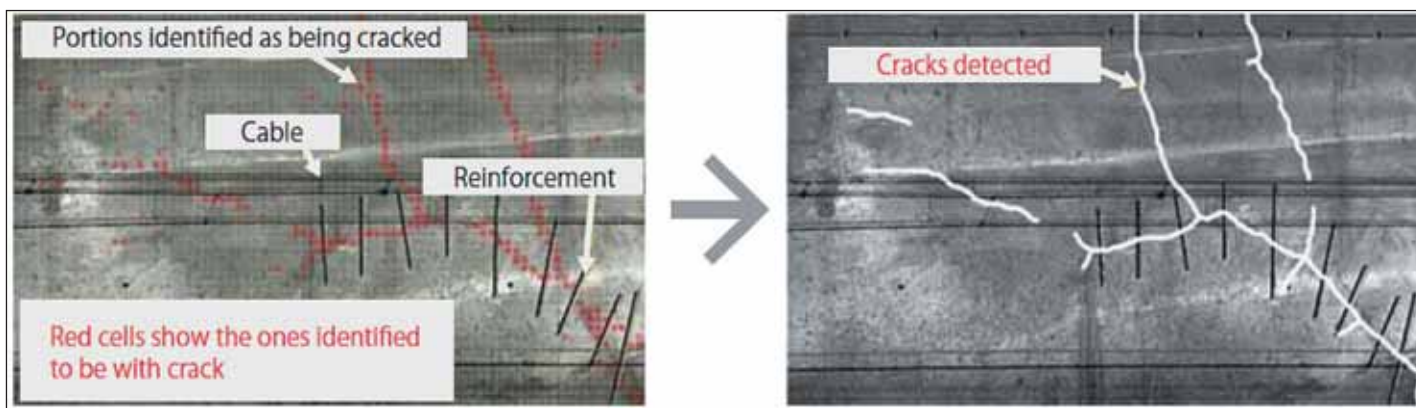


Рис. 3. Пример компьютерного распознавания трещин в обделке тоннеля

и конкретные закономерности), чтобы в конечном счете создать модель идентификации (рис. 1).

Для передачи данных в процессе обучения поверхность тоннельной обделки разбивается на участки (сегменты, ячейки). Каждый из них классифицируется (помечается) как содержащий «трещину (с трещинами)» или «не содержащий трещину (нет трещин)». Любая ячейка, которая содержит кабель или соединение, или то и другое, классифицируется как «не имеющий трещину». В качестве обучающих данных подготовлены для каждого класса несколько десятков тысяч изображений сегментов сетки. В процессе распознавания материалов цифрового сканирования обделки тоннеля включение неизвестного изображения в идентификационную модель, построенную в процессе обучения, дает результат в виде оценки вероятности для рассматриваемого изображения. Соответственно, компьютер теперь может автоматически получать некоторое число характеристик посредством автономного анализа данных, не требуя какого-либо

явного программируемого участия человека (рис. 2).

Результаты экспериментов показали, что на наличие трещин правильный ответ получен более чем в 90 % случаев (рис. 3).

Для улучшения практических результатов выявления трещин предложен гибридный метод детального анализа полутонового изображения, когда значение пикселя соответствует вероятности наличия трещины. В этом методе формируется битовое изображение со значением каждого пикселя от 0 до 255, линейно соответствующим вероятности присутствия трещины от 0 до 1. Затем изображение анализируется для определения положения и направления трещин. Поскольку трещины имеют тенденцию соединяться в направлении главной оси, после расширения и соединения соседних отрезков линии любой отрезок линии меньше определенной длины удаляется. Затем оставшиеся области сжимаются, сглаживаются и выполняется формирование каркаса с целью обнаружить трещины. Это позволяет убедиться, что трещины за кабелями и другими вспомогательными предметами обна-

ружены правильно. Сравнение составленных вручную схем деформаций с результатами исследования, полученными с помощью предложенного способа для той же области, показало, что разработанный метод представляет практическую ценность, поскольку его результаты сопоставимы с результатами, полученными человеком.

Предполагается, что эффективность предложенного метода обнаружения трещин будет дополнительно повышена в составе одного из основных элементов технологии автоматического создания карт деформаций, а также других дефектов, таких как утечки воды.

#### Список литературы

1. Космин В. В. Сканирующая система для геометрических измерений в тоннеле // Метро и тоннели. 2018. № 4. С. 27.
2. Masato Ukai. Deep Learning Finds Tunnel Cracks // Ascent. 2018. #5. P. 15–17.

#### Для связи с автором

Космин Владимир Витальевич  
vvcosmin@mail.ru



## ПАМЯТИ ВАЛЕРИЯ ЗИНОВЬЕВИЧА КОГАНА



**Коллектив Тоннельной ассоциации России с глубоким прискорбием сообщает, что 10 мая 2019 г. на 80-м году жизни после тяжелой болезни скончался наш коллега Валерий Зиновьевич Коган.**

Вся трудовая деятельность Валерия Зиновьевича после окончания Московского горного института в 1962 г. была связана со строительством метро и тоннелей в стране и за рубежом.

До 1974 г. он трудился сначала электрослесарем, потом механиком участка и главным энергетиком в СМУ-8 Мосметростроя. С 1974 по 1987 г. – в УС «Бамтоннельстрой» главным механиком, заместителем главного инженера. С 1987 по 1995 г. В. З. Коган – главный инженер, генеральный директор ОАО «Протонтоннельстрой». 1996–2003 гг. – консультант по строительству подземных сооружений в фирмах США, Австрии, Тайваня. С 2003 г. и до последнего дня Валерий Зиновьевич работал в УК «СИТИ», ООО «Галакс», ООО «СП «Еврострой».

В его активе непосредственное участие в строительстве тоннелей и станций Арбатско-Покровской, Калужско-Рижской, Сокольнической линий в Москве, Байкальского, Северомуйского, Кодарского и Мысовых тоннелей БАМа, Ускорительно-накопительного комплекса в г. Протвино, в г. Баку, на Тайване, в Израиле.

Консультации Валерия Зиновьевича способствовали выбору наиболее эффективного оборудования для строительства тоннелей совмещенной дороги Адлер – Красная Поляна и моста на о. Русский.

В. З. Коган – автор 12 изобретений и 50 печатных работ по тематике тоннелестроения.

Бесконечная преданность выбранной профессии, в которой он действительно был Профессионалом с большой буквы, обязательность, большая работоспособность, корректное отношение к окружающим снискали ему огромный авторитет и уважение в среде тоннелестроителей.

Валерий Зиновьевич всегда был доступным и отзывчивым человеком, о чем свидетельствует и тот факт, что несмотря на свою огромную профессиональную занятость он активно участвовал в работе Тоннельной ассоциации России, входил в первый состав ее правления, являлся известным экспертом по тоннельным буровым машинам и постоянным автором статей журнала «Метро и тоннели» в рубрике «О тоннелях и тоннельщиках».

За многолетний добросовестный труд Валерий Зиновьевич был удостоен высоких правительственных наград, званий лауреата премии Совета Министров СССР и почетного транспортного строителя, других знаков отличия.

Выражаем искренние соболезнования родным и близким, всем кто знал и любил Валерия Зиновьевича.

Светлая память об этом энергичном, доброжелательном и умном человеке сохранится в наших сердцах, а его имя – в истории метро и тоннелестроения России.

*Правление Тоннельной ассоциации России*