

# Метро *и* тоннели

**№ 2**  
июнь 2024





## РЕШЕНИЯ ДЛЯ РЕМОНТА БЕТОНА

- Материалы для неконструкционного ремонта
- Материалы для конструкционного ремонта
- Материалы для сухого торкретирования
- Ингибиторы коррозии и адгезионные составы

## РЕШЕНИЯ ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ

- Жесткие гидроизоляционные покрытия
- Эластичные гидроизоляционные покрытия
- Материалы для устройства узловой гидроизоляции



## РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОЛОВ

- Упрочнители верхнего слоя свежесуложенных бетонных полов
- Самовыравнивающиеся смеси для устройства бетонных полов
- Материалы для устройства цементных полов

ООО «Полипласт \_ Юг»  
+7 (861) 255 – 46 – 43  
office\_krasnodar@polyplast-ug.ru

ООО «Полипласт Новомосковск»  
+7 (800) 200 – 08 – 28, доб. 101  
kluchnikov@polyplast-nm.ru

ООО «Полипласт Северо\_запад»  
+7 (812) 612 – 82 – 65  
ruk.sss@ppnw.ru

ООО «Полипласт УралСиб»  
+7 (3439) 27 – 35 – 00, доб. 2350  
info@ppus.org

Журнал

Тоннельной ассоциации России, входит в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)

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

В. Н. Захаров, академик РАН

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

М. Х. Миралимов, доктор техн. наук

М. М. Рахимов, канд. техн. наук

А. Ю. Старков

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

Предпечатная подготовка

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

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов журнала только с письменного разрешения Тоннельной ассоциации России



Мосметрострой

## № 2, 2024

### Проектирование

**О планах по разработке нормативных документов в области транспортного тоннелестроения** 2  
А. С. Маренков

**Влияние взрывообразного разрушения на железобетонные конструкции подземных сооружений** 4  
Д. А. Голубева, Г. Л. Шидловский

### Автодорожные тоннели

**Крупнейшие высокогорные автодорожные тоннели** 8  
Л. В. Маковский, В. В. Кравченко

### Железнодорожные тоннели

**Строительство нового Джебского тоннеля на перегоне Кошурниково — 570 км Красноярской железной дороги** 12  
А. А. Перегудов, А. А. Федоров, Д. Ю. Барабаш

### Железнодорожные тоннели

**Эффективность и экологичность применения композитных материалов верхнего строения пути для метрополитенов и тоннелей** 16  
Х. Ш. Бабаханов, С. С. Приезжев, А. А. Бондаренко

### Тоннельная обделка

**Конструкции тоннельных обделок сводчатого очертания с ребрами жесткости** 20  
Л. В. Маковский, В. В. Кравченко

### Щитовая проходка

**Анализ проектных скоростей строительства тоннелей диаметром 6 м, сооружаемых тоннелепроходческими механизированными комплексами** 22  
Е. И. Кучуркина

### Мониторинг

**Консервация железнодорожного тоннеля на участке Артышта – Томусинская** 26  
В. А. Гурский, А. В. Попов, М. Н. Кормин, Д. В. Мищенко

### Вопросы безопасности

**Практические значения пропускных способностей участков пути метрополитена и зависимости скоростей движения пассажиров при эксплуатационном режиме** 29  
Д. Е. Шабунина, В. С. Кудрявцев

### Зарубежный опыт

**Оценка риска и превентивные мероприятия при проведении подземных работ в условиях плотной застройки** 34  
В. В. Космин

### Конгресс МТА

**Международный тоннельный конгресс WTC 2024** 36

### В Тоннельной ассоциации России

**Итоги научно-технической конференции «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве — 2024»** 40

# СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

На строительстве нового Джебского тоннеля (с. 12)

# О ПЛАНАХ ПО РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ

## ABOUT PLANS TO DEVELOP REGULATORY DOCUMENTS IN THE FIELD OF TRANSPORT TUNNEL CONSTRUCTION

**А. С. Маренков**, гл. спец., ФАУ «ФЦС» Минстроя РФ  
**A. S. Marenkov**, Chief Specialist of Ministry of Construction of Russia

**С 2015 г. Минстрой России активно развивает нормативную техническую базу строительства, в том числе в области транспортного строительства. В 2024 г. в области объектов транспортного тоннелестроения запланировано проведение двух прикладных научных исследований, и разработка одного свода правил.**

***Since 2015, the Ministry of Construction of Russia has been actively developing the regulatory technical framework for construction, including in the field of transport construction. In 2024, two applied scientific studies and the development of one set of rules are planned in the field of transport tunnelling facilities.***

**В** этом году ведется разработка свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта».

Вместе с тем, для развития нормативно-технической базы Минстроем России инициировано проведение необходимых научных исследований, результаты которых по их завершению будут внедрены в нормативную базу. А именно: научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по теме: «Разработка методики прогнозирования скорости износа режущего инструмента механизированных щитовых комплексов при сооружении транспортных тоннелей и метрополитенов на основании исследований абразивности грунтов» и «Экспериментальные исследования анкерных химических креплений отечественного производства для применения на объектах транспортного назначения (мосты, автомобильные и железнодорожные туннели и т.п.), в том числе при высоких нагрузках».

В настоящее время установленных требований в СП 120.13330.2022 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены» (далее – СП 120.13330.2022) и СП 122.13330.2023 «СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автомобильные» (далее – СП 122.13330.2023) недостаточно, отсутствуют и необходимо дополнить правилами проектирования, производства и приемки работ при выполнении капитального ремонта подземных сооружений транспортного назначения (транспортных тоннелей и метрополитена) (СП 120.13330.2022 распространяется только на новое строительство и реконструкцию, требования к проведению капитального ремонта не установлены). Профессиональное сообщество (Тоннельная ассоциация России – более 50 членов: научные, проектные, учебные и производственные организации в области подземного строительства нашей страны; Институт «Мосинжпроект», АО «ЦНИИТС» и др.) неоднократно высказывало свою пози-

цию по вынесению вопросов, касающихся ремонта железобетонных и бетонных конструкций транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов, в отдельный свод правил.

Это связано в первую очередь с тем, что если вносить изменение в СП 120.13330.2022, касаемо ремонта, то документ будет увеличен по объему практически в два раза, и им будет трудно пользоваться.

Вместе с тем, основой для разработки положений нового свода правил послужили результаты проведенного в 2022 г. НИОКР по теме «Исследование современных методов капитального ремонта и реконструкции подземных сооружений транспортного назначения».

Запланировано установление технических решений по применению технологии устройства компрессионной герметизации деформационных швов и диапазона допустимого снижения паропроницаемости для объекта ремонта, что обеспечит снижение стоимости эксплуатационных затрат за счет увеличения сроков службы строительных конструкций, повышающих межремонтные периоды. Будет внедрен новый способ устройства компрессионной герметизации швов, примыканий, сопряжений, трещин, расщелин.

НИОКР по теме «Разработка методики прогнозирования скорости износа режущего инструмента механизированных щитовых комплексов при сооружении транспортных тоннелей и метрополитенов на основании исследований абразивности грунтов», в результате которого планируется разработка методики подбора режущего инструмента в разных инженерно-геологических условиях, с целью повышения износостойкости будут установлены нормируемые параметры по результатам проведенных исследований свойств сыпучих грунтов, включающие полученные зависимости скорости износа режущего инструмента тоннелепроходческих щитов от абразивности. Под заданную скорость

проходки в зависимости от вида грунта возможно будет подобрать режущий инструмент. Ожидаемые результаты позволят создать техническую базу для актуализации СП 120.13330.2022 и СП 122.13330.2023. Также исследование и обоснование прогноза абразивных свойств сыпучего грунта по результатам их лабораторных испытаний и статистики замен режущего инструмента на ТПМК позволит разработать ГОСТ «Подбор режущего инструмента механизированных щитовых комплексов при сооружении транспортных тоннелей и метрополитенов».

Стоимость заменяемого режущего инструмента составляет от 1 до 15 евро на 1 м<sup>3</sup> разрабатываемого грунта при среднем показателе 5 евро на 1 м<sup>3</sup>. Снижение стоимости работ на 20 % (1 евро/м<sup>3</sup>) за счет проведения плано-предупредительных замен режущих инструментов при годовой разработке грунта 2300 т м<sup>3</sup> (в Москве задействовано 23 ТПМК, обеспечивающих каждый проходку тоннелей 2,5 км/год) только для Москвы даст годовой экономический эффект около 190 млн р. за счёт возможности подбора режущего инструмента в зависимости от конкретных геологических условий, а именно абразивности и истираемости, влияющих на изнашиваемость резцов инструмента.

НИОКР по теме «Экспериментальные исследования анкерных химических креплений отечественного производства для применения на объектах транспортного назначения (мосты, автомобильные и железнодорожные туннели и т.п.), в том числе при высоких нагрузках» проводится в связи с тем, что в настоящее время отсутствуют стандартизированные методики по определению основных физико-химических характеристик именно клеевых композиций (на эпоксициануратной и эпоксиакрилатной основах), необходима их разработка с учетом специфики (время полимеризации, время отверждения, время набора прочности). Целью работы явля-

ется получение нормируемых параметров при использовании химических анкерных крепежей отечественного производства при проведении работ по ремонту на объектах транспортной инфраструктуры, в том числе при малых краевых и осевых расстояниях, а также в различных зонах влажности и степенях воздействия окружающей среды. Будет установлен диапазон для минимального краевого расстояния, минимального межосевого расстояния, коэффициент условий работы, допускаемые вытягивающие и срезающие нагрузки на объектах транспортной инфраструктуры (в том числе при высоких нагрузках) в различных зонах влажности и в зависимости от степени воздействия окружающей среды. Обоснованное внесение изменений в НТД обеспечит внедрение материалов и технологий (анкерных химических креплений отечественного производства и их составляющие (пистолеты для картриджей, сетчатые гильзы, насосы и т. п.)) в сегменте рынка в среднем в 1,25 раз (в денежном эквиваленте 155 млн р.) при объеме рынка в 2021–2022 гг. 790,8 т (615 млн р. в стоимостном выражении). Что, в свою очередь, даст эффективность в размере 49,6 млн р.; 248 млн р. нарастающим итогом за пять лет: в 7,63 раза (и в 41,3 раза соответственно). Также будут сокращены объемы и сроки ремонтно-восстановительных работ (в том числе на объектах транспортной инфраструктуры), что приведет к сокращению затрат на строительство/ремонтно-восстановительные работы на 1,1–1,2 % ежегодно (в денежном эквиваленте только по Москве эффективность составит 45–55 млн р. ежегодно).

Таким образом, эффективность внедрения результатов данной НИОКР будет составлять  $49,6 + 55 = 104,6$  млн р. ( $248 + 275 = 523$  млн р. в пятилетней перспективе).

### Заключение

Качественное изменение и развитие системы нормативного технического регулирования в строительной отрасли является стратегическим вопросом, и ФАУ «ФЦС» прилагает максимум усилий и реализовывает амбициозные задачи, направленные на решение самых важных задач, в том числе и в области транспортного тоннелестроения.

### Ключевые слова

Планирование, прикладные научные исследования, разработка нормативных технических документов, нормирование в строительстве.

Planning, applied scientific research, development of regulatory technical documents, standardization in construction.

### Для связи с автором

Маренков Александр Сергеевич  
marenkovas@faufcc.ru



## ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЦЕНТР НОРМИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



### Сводь правил и стандарты

Разработка, актуализация, экспертиза проектов сводов правил, государственных и национальных стандартов



### Техническая оценка пригодности

Подготовка заключений о технической оценке пригодности для применения в строительстве новой продукции, сопровождение получения технических свидетельств



### Специальные технические условия

Анализ потребности в разработке специальных технических условий



### Консалтинговые услуги

Экспертные консультации и формирование плана мероприятий внедрения и развития продукта/ решения в строительной отрасли



### Научные исследования

Формирование предложений по проведению прикладных научно-исследовательских работ, которые в дальнейшем будут включены в нормативные документы

## ПЛАН НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ТРАНСПОРТНОГО ТОННЕЛЕСТРОЕНИЯ НА 2024 ГОД

### Сводь правил

В 2024 г. к реализации готовится один проект, а именно разработка СП «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта»

### Научные исследования

В 2024 г. проводятся два прикладных научных исследования:

- Разработка методики прогнозирования скорости износа режущего инструмента механизированных щитовых комплексов при сооружении транспортных тоннелей и метрополитенов на основании исследований абразивности грунтов
- Экспериментальные исследования анкерных химических креплений отечественного производства для применения на объектах транспортного назначения (мосты, автомобильные и железнодорожные тоннели и т. п.), в том числе при высоких нагрузках



# ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВООБРАЗНОГО РАЗРУШЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

## INFLUENCE OF EXPLOSIVE DESTRUCTION ON REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF UNDERGROUND STRUCTURES

Д. А. Голубева, ООО «Центр исследований опасных факторов пожара»

Г. Л. Шидловский, к. т. н., СПб УГПС

D. A. Golubeva, Center for research of fire hazardous factors LLC

G. L. Shidlovsky, PhD, SPb UGPS

**Пожары в подземных сооружениях могут повлечь за собой обрушение конструкций, приводящее к гибели людей и значительному материальному ущербу. Изучение последствий пожаров свидетельствует о том, что разрушение конструкций в основном происходит по причине оголения арматурного каркаса вследствие взрывообразного (хрупкого) разрушения бетона. В статье рассматриваются отечественные и зарубежные исследования явления взрывообразной потери целостности железобетонных конструкций и выявлены общие тенденции в области защиты конструкций подземных сооружений от опасных факторов пожаров.**

***Fires in underground structures can lead to the collapse of structures, leading to loss of life and significant material damage. The study of the consequences of fires indicates that the destruction of structures mainly occurs due to the exposure of the reinforcing frame due to concrete spalling. The article examines domestic and foreign studies of the phenomenon of concrete spalling and identifies general trends in the field of protection of structures of underground structures from fire hazards.***

**Д**ля подземных сооружений, особенно для тоннелей, характерны труднодоступность и замкнутость пространства, что является осложняющими факторами для быстрой ликвидации пожара. Некоторые произошедшие пожары в транспортных тоннелях имели трагические социально-экономические последствия, в том числе гибель людей, опасные условия тушения пожара, и в итоге прекращение функционирования сооружения на длительный срок восстановления (до нескольких месяцев). Поэтому к подземным сооружениям предъявляются повышенные требования по пожарной безопасности, в том числе к обеспечению требуемых пределов огнестойкости.

В соответствии с «Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности» № 123-ФЗ [1] пределом огнестойкости строительных конструкций является промежуток времени от начала огневого воздействия до наступления одного из нормированных предельных состояний:

- потеря несущей способности R;
- потеря целостности E;
- потеря теплоизолирующей способности I.

Требования по пределам огнестойкости конструкций определяются на основании требований № 123-ФЗ [1] и действующих нормативных документов в области проектирования подземных сооружений: СП 120.13330.2022 «Метрополитены» [2], СП 122.13330.2023 «Тоннели железнодорожные и автодорожные» [3], СП 2.13130 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» [4].

Как следует из этих документов, к конструкциям подземных сооружений предъяв-

Таблица 1

Пределы огнестойкости строительных конструкций сооружений метрополитена [2]

Наименование строительной конструкции	Предел огнестойкости, не менее
1. Несущие стены, колонны, обделки, конструкции мостовых переходов над платформой и путями станции и другие несущие элементы	R 90
2. Ограждающие конструкции шахт лифтов для МГН	EI 60
3. Двери шахт лифтов	EI 60
4. Стены лестничных клеток	REI 90
5. Внутренние несущие конструкции лестниц в лестничных клетках: косоуры, балки маршей и площадок	R 60
6. Междупэтажные перекрытия (в том числе между подземными и наземными уровнями)	REI 60
7. Съёмное перекрытие над машинным залом эскалаторов	R 60
8. Конструкции кабельного перекрытия или вентиляционного отсека в эскалаторном тоннеле	REI 60
9. Ограждающие перегородки мостовых переходов над платформой и над путями станции	EIW 60
10. Вентиляционные киоски общеобменной вентиляции на поверхности земли	R 15
11. Противопожарная разделительная стена между путями в двухпутных тоннелях	REI 90
12. Противопожарные перегородки соединительных сбоек между тоннелями	EI 90
13. Обделки эскалаторных тоннелей и вентиляционных стволов	R 90

ляют повышенные требования по огнестойкости – минимальный предел составляет не менее 60 минут для несущих конструкций (табл. 1 и 2).

### Взрывообразное разрушение бетона

Железобетонные конструкции очень распространены при строительстве подземных сооружений. Железобетон – это композиционный материал, в котором свойства стали и бетона выгодно сочетаются и дополняют друг друга. Однако при нагреве становятся особенно видны различия в поведении каждого материала. Бетон, подвергаемый прямому огневому воздействию, имеет склонность к взрывообразному разрушению. Взрывообразное, или хрупкое разрушение бетона может происходить по ряду причин:

- нарастание давления в порах, связанное с наличием в материале влаги;
- увеличение напряжений в бетоне, связанное с температурным расширением материала;
- комбинированное действие этих факторов.

Хрупкое взрывообразное разрушение бетона начинается, как правило, через 5–15 минут от начала огневого воздействия, длится в течение 20–45 минут от начала огневого воздействия и проявляется в виде отколов от нагреваемой поверхности кусков бетона толщиной до 50 мм [5].

Взрывообразное разрушение бетона влияет в первую очередь на пределы огнестойкости по несущей способности и по целостности. Взрывообразное разрушение приводит к снижению пределов прочности за счет:

- уменьшения размера сечения;
- образования трещин и сквозных отверстий;
- разрушения защитного слоя бетона;
- образования дополнительного изгибающего момента, связанного с неравномерным прогревом.

Наиболее опасным последствием взрывообразного разрушения может быть полное разрушение защитного слоя, из-за чего арматура будет подвергаться прямому огневому воздействию, что крайне негативно скажется на ее прочностных характеристиках и приведет к быстрому обрушению конструкции в условиях пожара (рис. 1).

В настоящее время общая расчетная оценка возможности взрывообразного разрушения бетона при пожаре выполняется путем расчета критерия хрупкого разрушения  $F$  в соответствии с методикой СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности» [5] по формуле:

$$F = \frac{\alpha \alpha_{bt} E_{bt} \rho W_0}{K_i \lambda \Pi}$$

где  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, равный  $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{5/2} / \text{кг}$ ;

$\alpha_{bt}$  – коэффициент линейной температурной деформации бетона,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$E_{bt}$  – модуль упругости нагретого бетона,  $\text{МН}/\text{м}^2$ ;

Пределы огнестойкости строительных конструкций тоннелей [3]

Наименование строительной конструкции	Обозначение предела огнестойкости строительных конструкций тоннелей		
	не городских	городских	подводных
Обделки транспортных тоннелей	R 90	R 150	R 180
Обделки притоннельных сооружений, порталов и штолен	R 90	R 90	R 90
Внутренние несущие конструкции тоннелей и притоннельных сооружений (стены, колонны и перекрытия)	R 90	R 150	R 180
Перегородки притоннельных сооружений и помещений	EI 60	EI 90	EI 90
Противопожарные двери и люки	EI 60	EI 60	EI 60
Ограждающие конструкции стволов шахт	R 90	R 90	R 180
Несущие конструкции маршей (косоуры) и площадок лестниц в лестничных клетках	R 45	R 60	R 60
Ограждающие конструкции тамбур-шлюзов	EI 60	EI 90	EI 120
Перекрытие канала дымоудаления в тоннеле	EI 90	EI 90	EI 120



Рис. 1. Разрушение бетона в результате пожара в строящейся переходной камере Московского метрополитена, январь 2019 г.

$\rho$  – плотность бетона в сухом состоянии,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$K_i$  – коэффициент псевдоинтенсивности напряжений неоднородного материала,  $\text{МН} \cdot \text{м}^{3/2}$ ;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности бетона;

$W_0$  – объемная эксплуатационная влажность бетона;

$\Pi$  – общая пористость,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

Данный способ учитывает в первую очередь состав применяемой бетонной смеси, тип заполнителя и условия эксплуатации, а именно влажность. Считается, что наиболее подвержены взрывообразному разрушению бетонные и железобетонные конструкции, запроектированные из бетона со значением критерия хрупкого разрушения  $F > 4$ , конструкции из высокопрочного бетона классов В60 и выше, а также конструкции, эксплуатация которых предусматривается в условиях повышенной влажности (подземные конструкции, тоннели и т. п.) более 3% [5].

Для таких конструкций следует предусматривать разработку и выполнение мероприятий по защите от хрупкого взрывообразного разрушения при пожаре. К таким мероприя-

тиям относятся:

- добавление в бетонную смесь полипропиленовой микрофибры;
- применение огнезащитных материалов;
- установка противоточных сеток;
- увеличение толщины защитного слоя;
- подбор состава бетонной смеси с учетом вероятности взрывообразного разрушения.

### Анализ результатов огневых испытаний

Подверженность высокопрочных бетонов взрывообразному разрушению связана в первую очередь с плотной структурой таких бетонов, так как при пожаре испаряющаяся влага в конструкции не может найти выхода, что приводит к нарастанию давления в порах [6]. Нарастание давления в порах является основной причиной разрушений и для обычных бетонов, однако для таких бетонов характерно явление миграции влаги в конструкции при нагреве, поэтому более критическим фактором становится влажность конструкции (рис. 2).

Данные явления множество раз подтверждались в ходе огневых испытаний [7–12]. Взрывообразное разрушение бетона было зафиксировано практически во всех испытаниях, при проведении которых не были использованы дополнительные материалы,

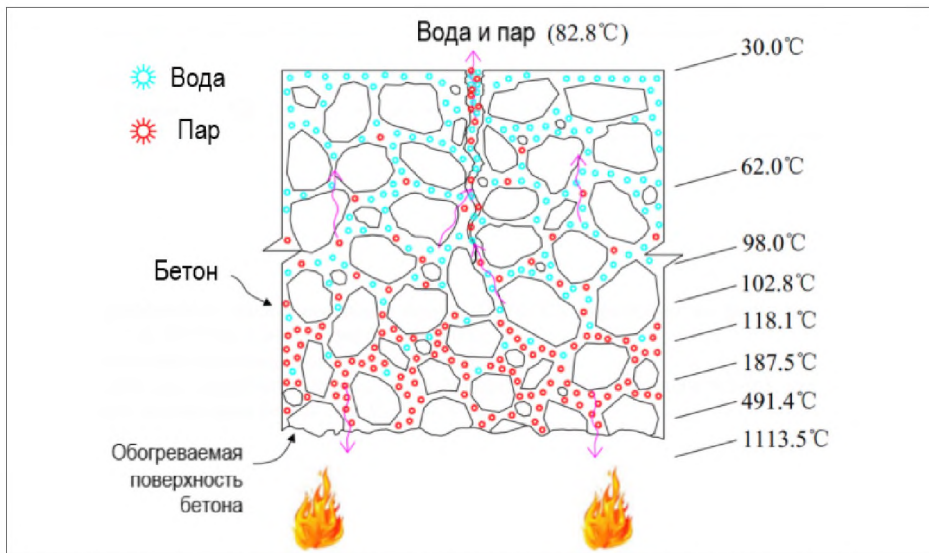


Рис. 2. Принципиальная схема распределения температурного поля и миграции влаги в бетоне при пожаре

Таблица 3

Результаты испытаний железобетонных тоннельных обделок без средств, предотвращающих возникновение взрывообразной потери целостности [7–12]

Испытанный образец	Время испытаний, мин.	Взрывообразное разрушение
Блоки тоннельной обделки 3055 (по оси) ×700×250 мм	95	Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя
Блоки тоннельной обделки 2984 (по оси) ×1400×300 мм	95	Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры
Блоки тоннельной обделки 5250 (по наружной стороне) × ×1800×450 мм	95	Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры
Блоки тоннельной обделки диаметром 6,0/5,4 м (Д <sub>н</sub> /Д <sub>в</sub> )	95	Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя
Блоки тоннельной обделки 4250 (по оси) ×1800 ×450 мм	90	Разрушение на глубину более толщины защитного слоя, оголение арматуры
Блоки тоннельной обделки 1714×1014×200 мм	180	Разрушение на глубину не более толщины защитного слоя

предотвращающие разрушение (табл. 3). Однако на основании анализа испытаний можно сделать вывод, что степень нагруженности конструкции является более весомым фактором.

Например, в 2023 г. в испытательной лаборатории «Файерлаб» (Московская область) была проведена серия испытаний трёх железобетонных плит [13]. Конструкция всех плит была идентичной. Единственным отличием в каждом испытании была нагрузка – на плиты прикладывалась равномерно распределенная нагрузка величиной от 900 до 1100 кг/м<sup>2</sup>.

В каждую плиту устанавливались термопары для фиксации температуры на глубине нижнего ряда арматуры. По результатам испытаний выявлено, что у наиболее нагруженной конструкции (образец № 2) была зафиксирована самая большая глубина разрушения бетона, подтвержденный предел огнестойкости составил 90 минут, тогда как другие образцы выдержали более 120 минут огневого воздействия (рис. 3–6).

В 2021 г. на испытательной базе лаборато-

рии НИЦ ПБ ФГУ ВНИИПО были проведены огневые испытания железобетонных колонн [14]. Испытания проводились под действием постоянной статической нагрузки 981 кН (100 тс). Колонны из бетона класса В30 испытывались без огнезащиты, с огнезащитой цементными огнезащитными плитами и огнезащитной штукатуркой, а также с добавлением в бетон полипропиленовой микрофибры (ППФ) в количестве 1 кг/м<sup>3</sup>. Во всех образцах устанавливались термопары для фиксации температуры прогрева конструкции.

Испытания с применением огнезащитных материалов показали предел огнестойкости колонн R 240, взрывообразное разрушение не было зафиксировано (рис. 7). Испытания с применением микрофибры показали предел огнестойкости колонн R 150 с разрушением на глубину не более 5 мм (рис. 8).

В свою очередь испытания без применения средств, предотвращающих взрывообразное разрушение, пришлось остановить на 15 минуте, так как прекратились показания термопар и возникла угроза обрушения

испытательной установки. При осмотре состояния образцов после испытаний было выявлено разрушение защитного слоя бетона на глубину от 5 до 50 мм по всей поверхности образцов. В отдельных местах защитный слой отсутствовал полностью, с оголением арматуры (рис. 9). Таким образом, сжимающие нагрузки, которые реализуются в колоннах при эксплуатации и воспроизводились в ходе огневых экспериментов, оказали не меньшее, если не большее, влияние на степень взрывообразного разрушения, чем влажность.

Для оценки влияния влажности конструкции на огнестойкость в 2023 г. на испытательной базе лаборатории НИЦ ПБ ФГУ ВНИИПО были проведены испытания блоков обделки тоннельных коллекторов, для этого перед началом испытаний образцы выдерживались в воде в течение 40 суток [15]. Всего было испытано шесть образцов, и большинство из них были выполнены с применением средств, предотвращающих возникновение взрывообразного разрушения – полипропиленовая микрофибра, противопожарные проволочные сетки. Однако часть образцов испытывалась без дополнительных мероприятий. В результате испытаний разрушение бетона незащищенного образца оказалось незначительным (рис. 10). В данном случае высокий уровень влажности не стал критическим фактором для бетона, большее влияние оказали низкие значения приложенных нагрузок.

### Заключение

Параметры огнестойкости железобетонных конструкций и влияющий на это эффект взрывообразного разрушения бетона являются очень важными при проектировании подземных сооружений. Особенно это касается тоннельных сооружений и конструкций, граничащих с грунтом. Для элементов тоннельных обделок характерны как растягивающие, так и сжимающие усилия с обогреваемой стороны, а значит, велика вероятность и дополнительного изгиба от температурного момента, и взрывообразного разрушения бетона.

### Список литературы

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. СП 120.13330.2022 «СНиП 32-02-2003 «Метрополитены».
3. П 122.13330.2023 «СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автодорожные».
4. СП 2.13130 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».
5. СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнесохранности».
6. Duan, J.; Qiu, P.; Liu, J.; Wu, X. Experimental Study of the Concrete Cracking Behavior of an Immersed Tunnel under Fire. Buildings 2023, 13, 1412. <https://doi.org/10.3390/buildings13061412>.
7. Отчет № 666-3.2 об испытаниях. Огнестойкость сборного железобетонного блока высокоточной тоннельной обделки диаметром 5,9/5,4 (Д<sub>н</sub>/Д<sub>в</sub>) ТУ 23.61.12-002-56901873-2018, изготовленного из тяжелого бетона марки В45, армированного стальными





Рис. 3. Образец № 1 после проведения испытания

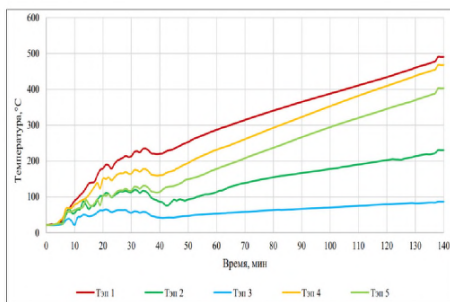


Рис. 4. Показания измерений термопар внутри образца № 1



Рис. 5. Образец № 2 после проведения испытания

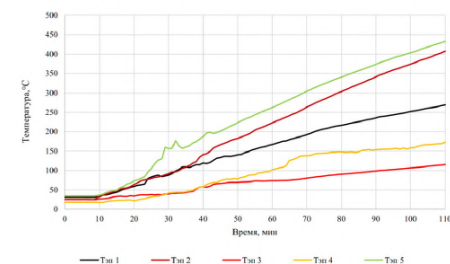


Рис. 6. Показания измерений термопар внутри образца № 2



Рис. 7. Образцы железобетонных колонн после огневых испытаний с огнезащитным материалом: а – огнезащитные плиты; б – штукатурка



Рис. 8. Образцы с добавлением полипропиленовой микрофибры после испытаний



Рис. 9. Образец без применения дополнительных средств после испытания



Рис. 10. Образец обделки без применения дополнительных средств после испытания

ми пространственными стеками из арматуры класса А500, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2019.

8. Отчет № 0180-3.2 об испытаниях. Огнестойкость сборного железобетонного блока высокоточной тоннельной обделки, изготовленного из тяжелого бетона марки В45, армированного стальными пространственными каркасами, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2017.

9. Отчет № 949-3.2-КИ-2020 об испытаниях. Огнестойкость сборного железобетонного блока высокоточной тоннельной обделки диаметром 6,0/5,4 (Д<sub>н</sub>/Д<sub>в</sub>) ТУ 23.61.12-002-56901873-2018, изготовленного из тяжелого бетона марки В45, армированного стальными пространственными стеками из арматуры класса А500, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2020.

10. Отчет № 950-3.2-КИ-2020 об испытаниях. Огнестойкость сборного железобетонного блока высокоточной тоннельной обделки диаметром 6,0/5,4 (Д<sub>н</sub>/Д<sub>в</sub>) ТУ 23.61.12-002-56901873-2018, изготовленного из тяжелого бетона марки В45, армированного стальными пространственными стеками из арматуры класса А500, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2020.

11. Протокол испытаний № 0088-И. Огнестойкость железобетонного блока сборной обделки для сооружения двухпутного перегонного тоннеля диаметром 10,5/9,6 м (Д<sub>н</sub>/Д<sub>в</sub>) ТУ 23.61.12-014-36227771-2019, изготовленного из тяжелого бетона марки В45, НИЭЦ «Стройтест», Алексин, 2020.

12. Отчет об испытаниях железобетонного блока сборной обделки тоннелей метрополитена Д<sub>н</sub>/Д<sub>в</sub> = 6,0/5,4 м, изготовленного из тяжелого бетона класса В45, произведенного ООО «ТрансМетроГрупп», ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2022.

13. Протокол испытаний № ССБК 0108/СК от 26.05.2023 г. Огнестойкость железобетонных плит с применением дополнительных мероприятий, снижающих вероятность хрупкого разрушения бетона при пожаре, ИЛ «ФасерЛаб», 2023.

14. Отчет № 1004-3.2-КИ-2021 об испытаниях. Железобетонная колонна марки СЛ-40Т4 ТУ 3.500.1-1.93.1 с размерами 400×400×3000 мм, изготовленная из тяжелого бетона класса В30 с продольным армированием из ненапрягаемой арматуры периодического профиля класса А-II Ш16 мм. ООО «ЦИОФП», ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2021.

15. Отчет об испытаниях. Огнестойкость блоков обделки тоннельных коллекторов, сооружаемых методом щитовой проходки, с применением дополнительных мероприятий, снижающих вероятность хрупкого разрушения бетона при пожаре, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2023.

#### Ключевые слова

Огнестойкость, взрывообразное разрушение, железобетонные конструкции, тоннели.  
Fire resistance, concrete spalling, reinforced concrete structures, tunnels.

#### Для связи с авторами

Голубева Дарья Андреевна  
golubeva@ciofp.ru



# КРУПНЕЙШИЕ ВЫСОКОГОРНЫЕ АВТОДОРОЖНЫЕ ТОННЕЛИ

## LARGEST HIGH MOUNTAIN ROAD TUNNELS

Л. В. Маковский, к. т. н., профессор МАДИ, кафедра Мостов, тоннелей и строительных конструкций

В. В. Кравченко, к. т. н., доцент МАДИ, кафедра Мостов, тоннелей и строительных конструкций

L. V. Makovsky, Prof. PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MAD I

V. V. Kravchenko, PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MAD I

Рассмотрены основные особенности строительства автодорожных тоннелей. Приведены примеры наиболее крупных автодорожных тоннелей в нашей стране и за рубежом. Наибольшее внимание уделено построенным и строящимся тоннелям в Китае, Индии, Афганистане, Азербайджане и Грузии. Указаны основные параметры этих тоннелей: длина, размеры поперечного сечения, высота расположения над уровнем моря. Охарактеризованы топографические, горно-геологические и природно-климатические условия. Уделено внимание вопросам защиты строящихся и эксплуатируемых тоннелей от неблагоприятных внешних воздействий.

Для проектирования и строительства таких тоннелей возникает необходимость в разработке нормативных документов, регламентирующих требования к проектированию, строительству и эксплуатации высокогорных автодорожных тоннелей в Российской Федерации.

*The main features of the construction of road tunnels are considered. Examples of the largest road tunnels in our country and abroad are given. The greatest attention is paid to tunnels built and under construction in China, India, Afghanistan, Azerbaijan and Georgia. The main parameters of these tunnels are indicated: length, cross-sectional dimensions, height above sea level. Topographical, mining-geological and natural-climatic conditions are characterized. Attention is paid to the issues of protecting tunnels under construction and operation from adverse external influences.*

*For the design and construction of such tunnels, there is a need to develop regulatory documents regulating the requirements for the design, construction and operation of high-mountain road tunnels in the Russian Federation.*



Рис. 1. Завершение работ по строительству тоннеля в провинции Цинхай Тибетского автономного округа

Непрерывное расширение сети автомобильных дорог неразрывно связано с преодолением различных высотных препятствий (возвышенностей, перевалов, горных хребтов и т. п.). В этом случае наиболее радикальным решением является проходка горных тоннелей, обеспечивающих кратчайший маршрут.

В настоящее время в мире построены тысячи горных автодорожных тоннелей. Самый протяженный – тоннель Лердал (24,5 км) в Норвегии, далее следуют Симплонский (19,8 км) между Италией и Швей-

царией, Чжуннаньшаньский (18,04 км) в Китае, Сен-Готардский (16,9 км) в Швейцарии, Арльберг (13,9 км) в Австрии, Сюэшань на Тайване (12,94 км) [1, 2, 3].

В нашей стране самыми протяженными горными автодорожными тоннелями являются Гимринский (4,5 км) в Дагестане, Рокский (3,6 км) между Северной и Южной Осетией, Краснополянский тоннели по трассе Адлер – Красная Поляна (2,5 км), восемь тоннелей на Дублере Курортного проспекта в районе г. Сочи (от 0,6 до 1,5 км каждый) [1, 3].

При проектировании и строительстве

высокогорных тоннелей необходимо учитывать не только сложные топографические и горно-геологические, но и природно-климатические условия.

В связи с этим в процессе строительства тоннеля должны быть приняты специальные защитные меры, минимизирующие неблагоприятные воздействия указанных выше факторов и обеспечивающие безопасность тоннелестроителей.

Далее рассмотрены основные особенности ряда построенных и строящихся высокогорных автодорожных тоннелей.



Рис. 2. Сооружение высокогорного тоннеля через хребет Пир Панджал в штате Химачал – Прадеш в Гималаях

### Особенности сооружения высокогорных тоннелей

Высокогорными принято считать тоннели, расположенные на высоте более 1,5–2 км над средним уровнем моря в сильно пересеченной горной местности.

Основные сложности строительства таких тоннелей связаны не только с топографическими и инженерно-геологическими, но и с неблагоприятными природно-климатическими условиями. Имеются в виду сильные ветры, обильные снегопады, низкие температуры воздуха, снежный покров в несколько метров, создающий опасность схода лавины, нехватка кислорода и избыточная солнечная радиация. Кроме того, значительно осложняется доставка на строительные площадки необходимых материалов и оборудования.

Несмотря на отмеченные выше сложности, в мире построены и строятся крупные высокогорные тоннели.

Например, в Китае с 2019 г. успешно эксплуатируется самый высокогорный в мире автодорожный тоннель в провинции Цинхай Тибетского автономного округа. Он расположен на трассе 400-км автомагистрали, связывающей города Лхаса и Ньингчи на высоте 4750 м. Тоннель длиной 5,7 км пересекает горный массив Мила высотой около 6 км [4].

В настоящее время в Китае завершается строительство высокогорного тоннеля на автомагистрали, соединяющей столицу Тибетского района г. Лхаса и г. Шаньнань [4].

Тоннель длиной около 13 км расположен на высоте 4,3 км над уровнем моря. С вводом его в эксплуатацию время в пути от г. Лхаса до г. Шаньнань сократится на 2 часа.

В Индии сооружается высокогорный

тоннель через хребет Пир Панджал в штате Химачал – Прадеш в Гималаях (рис. 2). Тоннель длиной 9,02 км рассчитан на пропуск одностороннего движения в каждом направлении с максимальной скоростью 80 км/ч и расположен на высоте 3060 м над средним уровнем моря [4]. Наличие тоннеля позволит сократить протяженность маршрута между Манали и Лехом на 46 км. Параллельно основному сооружается служебный тоннель на случай аварийной ситуации.

Трасса тоннелей проходит через толщу смешанных пород: сланцев, филитов и магматических гнейсов. Имеются зоны тектонических нарушений: разломы, сдвиги, складки.

К высокогорным относится также автодорожный тоннель, пересекающий хребет Гиндукуш в месте перевала Саланг в Афганистане (рис. 3) [3, 4].

Тоннель расположен на 100-км трассе, соединяющей северные и южные районы страны. Длина тоннеля составляет 2,7 км, площадь поперечного сечения – 71 м<sup>2</sup>. Трасса тоннеля пересекает перевал Саланг на высоте 3,5 км над уровнем моря. Строительство вели советские специалисты с использованием отечественного горнопроходческого оборудования. До начала строительства тоннеля были установлены две метеостанции для наблюдения за изменением погодных условий: температурой и влажностью воздуха, содержанием в воздухе кислорода и др.

Проходческие работы выполняли в сильно трещиноватых грунтах горным способом с применением буровзрывных работ. Со стороны северного портала проходку вели в слаботрещиноватых породах на полный профиль с возведением обделки из монолитного бетона. С южного портала проходческие работы вели в сильно трещиноватых

и обводненных грунтах с раскрытием выработки по частям с предварительной прокладкой опережающих штролен.

Скорость проходки основного тоннеля не превышала 90 м/мес., что объясняется сложными горно-геологическими и климатическими условиями. Строительство тоннеля продолжалось четыре года и было успешно завершено в сентябре 1964 г. Пропускная способность тоннеля составляет около 10 тыс. автомобилей в сутки.

В Азербайджане с 2021 г. ведется строительство дороги протяженностью 81 км через Муровдагский хребет на трассе Тога-налы – Кельбаджер – Истису с дальнейшим продлением до г. Лачин, где должен быть построен современный аэропорт (рис. 4) [4].

По трассе одновременно сооружают четыре автодорожных тоннеля, крупнейшим из которых является высокогорный Муровдагский длиной 11,6 км, расположенный на высоте 1,7 км над уровнем моря. Еще три тоннеля имеют длину 948, 627 и 561 м.

Муровдагский тоннель включает две параллельные выработки и рассчитан на пропуск двухполосного автомобильного движения в каждом направлении. На этапе проектирования рассматривался бестоннельный вариант, при котором протяженность трассы увеличилась на 20 км. При этом возникали серьезные сложности с эксплуатацией дороги в зимнее время в условиях сильных ветров, снегопадов и схода снежных лавин. Все это определило целесообразность строительства протяженного тоннеля. Проходку ведут горным способом с буровзрывной разработкой породы одновременно с обоих порталов на сбойку. В настоящее время пройдено по 5 км с каждой стороны.

С вводом в эксплуатацию Муровдагского тоннеля в 2025 г. он войдет в число крупнейших высокогорных автодорожных тоннелей мира.

В 2021 г. на севере Грузии, в горах Южного Кавказа было начато строительство двухполосной автомагистрали длиной 52,7 км. По трассе ведется проходка пяти тоннелей, самым протяженным из которых является высокогорный тоннель длиной около 9 км под Крестовым перевалом.

Проходка тоннеля в скальных и полускальных породах ведется с применением ТМП с роторным рабочим органом. В состав агрегата входит специализированное оборудование, позволяющее снизить уровень вибрации и предотвратить сход снежных лавин. Параллельно основному строится эвакуационный тоннель.

Стоимость строительства пяти тоннелей составит около 400 млн долларов, окончание работ предполагается в 2024 г.

### Заключение

Анализ наиболее характерных примеров из опыта строительства высокогорных автодорожных тоннелей свидетельствует о целесообразности их возведения, несмотря на сложные природно-климатические условия.



Рис. 3. Хребет Гиндукуш (а) с расположенным по трассе перевала Саланг тоннелем (б)



Рис. 4. Вид на портал (а) и поперечное сечение (б) строящегося Муровдагского тоннеля

В настоящее время на вооружении тоннелестроителей имеются эффективные технологии, высокопроизводительное специализированное оборудование, что позволяет осуществлять безопасную и скоростную проходку в разнообразных горно-геологических и природно-климатических условиях.

В скальных породах наряду с буровзрывным способом эффективно применение тоннелепроходческих машин (ТПМ) с рабочим органом сплошного или избирательного действия.

В слабых и нарушенных грунтах успешно применяют тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК), в состав которых входят механизированные щиты (МЩ) диаметром до 15 м и более с рабочими органами роторного или фрезерующего типа, а также с призабойными пригрузочными камерами.

Скорости проходки двухполосных автодорожных тоннелей горным способом могут достигать 300–400 м/мес., а щитовым способом – 800–1000 м/мес. и более.

В нашей стране строительство перевальных высокогорных автодорожных тоннелей ожидается на Северном Кавказе и на Дальнем Востоке.

При этом должны быть разработаны специальные нормативные документы, регламентирующие требования по безопасному строительству высокогорных тоннелей в сложных топографических, горно-геологических и природно-климатических условиях.

#### Список литературы

1. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Проектирование автодорожных и городских тоннелей. Учебник, 2022.
2. Маковский Л. В., Кравченко В. В. Подводные транспортные тоннели из опускающих секций: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2016. – 160 с.
3. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Автодорожные и городские тоннели России: учебное пособие. – М. МАДИ, 2016. – 136 с.
4. Интернет-ресурсы:
  - URL:Режим доступа <https://undergroundexpert.info/opyt-podzemnogo-stroitelstva/poslednie-sobytiya/tonnel-rotang/>, свободный. – (Дата обращения 05.10.2023).
  - URL:Режим доступа <https://dzen.ru/a/ZLok9OtSHWdS7Pq8>, свободный. – (Дата обращения 05.10.2023).
  - URL:Режим доступа <https://vestikavkaza.ru/news/zakancivaetsa-stroitelstvo-tonnela-iz-lacina-v-kelbadzar.html>, свободный. – (Дата обращения 05.10.2023).

#### Ключевые слова

Автодорожные тоннели, высокогорные тоннели, горный способ, щитовой способ.  
Road tunnels, high-altitude tunnels, mining method, shield method.

#### Для связи с авторами

Маковский Лев Вениаминович  
[tunnels@list.ru](mailto:tunnels@list.ru)  
Кравченко Виктор Валерьевич  
[609vyk@gmail.com](mailto:609vyk@gmail.com)



**В апреле 2024 г. свой юбилей отметил Николай Иванович Шумаков, народный архитектор РФ, главный архитектор Института «Мосинжпроект», академик Российской академии художеств и Российской академии архитектуры и строительных наук, президент Союза архитекторов России и Союза московских архитекторов, член Совета по культуре и искусству при Президенте Российской Федерации.**

Николай Иванович многолик и многогранен, как и сама архитектура – та область искусства, знаний и открытий, которую он сделал своей профессией. Перечень спроектированных им и реализованных объектов увеличивается год от года. Множатся титулы и награды, к которым он не то чтобы равнодушен, но с присущим ему чувством самоиронии называет «лаковым покрытием» реальной жизни.

А реальная жизнь Николая Шумакова началась 1 апреля 1954 г. в городе Коркино Челябинской области, где в 30-е годы прошлого века было от-

крыто богатейшее месторождение бурого угля. Как любит шутить юбиляр: «Родился практически в угольном разрезе под землёй, набрал в лёгкие немного воздуха и снова – почти на полвека опять ушёл под землю...»

Окончив в 1977 г. Московский архитектурный институт, будущий народный архитектор попал в мощнейшую проектную организацию – Институт «Метрогипротранс». Проработал там 44 года, и в 2021 г. перешёл в Институт «Мосинжпроект», также на должность главного архитектора.

И вот уже 47 лет каждый день он спускается под землю, где по собственному признанию Шумакова, ему всё привычно и понятно, где бесконечные тоннели, перегоны и поезда, заполненные пассажирами, – все стремятся к конечной точке путешествия: на станции столичной подземки. Над их сооружением, над их комфортом и безопасностью, над их зодческими образами и трудятся архитекторы Мосинжпроекта вместе со своим руководителем Николаем Ивановичем Шумаковым.

В летописи Московского метрополитена – как и в любой истории – были разные этапы, периоды взлётов сменялись годами зстоя, однако во все времена столичное метро справедливо считалось самым красивым в мире. В будущем году оно отметит своё 90-летие, а значит, половина биографии метро написана при активном участии Николая Шумакова.

В мировой практике объекты подземной архитектуры считаются наиболее сложными техническими сооружениями. Работы Шумакова отмечены различными наградами национальных и международных конкурсов, фестивалей, смотров. Его проекты удостоены золотых медалей и дипломов Брюссельской, Страсбургской и Парижской международных выставок. А в 2017 г. Николай Шумаков стал первым и пока единственным российским архитектором, получившим престижную Международную премию Опюста Перре. Учреждённая в 1961 г., эта премия присуждается Международным союзом архитекторов зодчим, которые внесли выдающийся вклад в применение современных технологий в архитектуре.

Сегодня на счету архитектора более 50 современных станций метро, каждая из которых имеет своё художественное решение, придуманное и воплощённое выдающимися современными архитекторами, скульпторами и живописцами.

К своему юбилею Николай Иванович подготовил персональную выставку, которая с успехом прошла в залах Музея современного искусства на Гоголевском бульваре. На ней были представлены три раздела творчества юбиляра: архитектура, живопись и скульптура. Каждое из направлений – результат почти полувековой непрерывной работы, каждодневного труда, азартного порыва и ироничного взгляда на окружающий мир, каким его видит архитектор, художник и автор мудрых афоризмов Николай Шумаков.

Архитектура – от подземелий Московского метрополитена до ажурных переплетений Живописного моста и реактивных образов аэропорта Внуково. Живопись – в портретах друзей и знакомых, в плавных линиях обнажённой натуры и неожиданных натюрмортов. И особый жанр анималистической скульптуры – диковинные арт-объекты, в которых угадываются причудливые образы животных...

В один из дней работы выставки состоялась презентация красочной книги, в которую вошли фотографии реализованных архитектурных проектов Николая Шумакова, его живописные работы и литературные зарисовки. Читателям предстоит увлекательное занятие: перелистывая страницы, расшифровывать образы, символы, слова и понятия, которыми с лёгкостью жонглирует автор, выразивший свой взгляд на мир двумя словами: «СИНГУЛЯРНОСТЬ. ШУМАКОВ».

# СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО ДЖЕБСКОГО ТОННЕЛЯ НА ПЕРЕГОНЕ КОШУРНИКОВО – 570 КМ КРАСНОЯРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

## CONSTRUCTION OF THE NEW DZHEBSKY TUNNEL ON THE KOSHURNIKOVO – 570 KM STRETCH OF THE KRASNOYARSK RAILWAY

А. А. Перегудов, А. А. Федоров, Д. Ю. Барабаш, ООО «СпецСитиСтрой»  
A. A. Peregudov, A. A. Fedorov, D. Y. Barabash, LLC «SpetsCityStroy»

В 2022 г. были начаты работы по строительству нового 1-го Джебского тоннеля в рамках реконструкции трассы Междуреченск – Тайшет Восточного полигона ОАО «Российские железные дороги». Его строительство является важной инфраструктурной задачей, направленной на модернизацию и улучшение эффективности железнодорожного сообщения Красноярского края, и будет одним из ключевых проектов в развитии железнодорожной инфраструктуры России, а именно Южного хода Транссибирской магистрали.

Объект запроектирован институтом «Сибгипротранспутъ» с привлечением субподрядных проектных организаций ООО ПИИ «Бамтоннельпроект» и ООО «Транспортные проектные решения». Строительно-монтажные работы производятся ООО «СпецСитиСтрой».

*In 2022, work began on the construction of the new 1st Dzhebsky tunnel as part of the reconstruction of the Mezhdurechensk – Taishet highway of the Eastern Polygon of JSC Russian Railways. Its construction is an important infrastructural task aimed at modernizing and improving the efficiency of railway communication in the Krasnoyarsk Territory and is one of the key projects in the development of Russia's railway infrastructure, namely the Southern Course of the Trans-Siberian Railway.*

*The facility was designed by the Sibgiprotransport Institute with the involvement of subcontracting design organizations LLC PII «Bamtonnelproekt» and LLC «Transport Design Solutions». Construction and installation works are carried out by LLC «SpetsCityStroy».*



Рис. 1. Вид на Восточный портал существующего 1-го Джебского тоннеля

### Краткое описание старого тоннеля

Существующий первый Джебский тоннель был построен в 1964 г. и находится на перегоне между станцией Кошурниково и путевым постом на 570 км Красноярской железной дороги. Его протяженность составляет 205 м (рис. 1).

### Новый тоннель

Протяженность нового тоннеля равна 267,4 м, он находится в плане справа по ходу пикетажа от действующего тоннеля и располагается на круговой кривой радиусом 600 м (рис. 2).

Тоннель запроектирован односкатным,

с уклоном 7,8% в сторону Западного портала. Внутреннее очертание тоннеля соответствует современным требованиям пропуска железнодорожных составов – габариту приближения строений «С» для электрифицированных линий. Поперечное сечение тоннеля представлено на рис. 3.

### Подготовительный этап и проходка тоннеля

Подготовку к строительству начали в ноябре 2022 г. К моменту прихода автомобильной техники, оборудования, жилых модулей и прочего – была обустроена территория промышленно-жилой площадки. После выноса попадающих в зону строительства сетей, ДПР были начаты выемки на Западном и Восточном порталах.

Одной из непростых задач стало сооружение выемки на Восточном портале: с одной стороны лесной массив вне зоны отвода железной дороги, с другой – крутой скальный откос с проходящей линией ДПР (рис. 4). Для отработки откосов сооружаются технологические пандусы и серпантины с целью разогнать уклон подъема/спуска до приемлемых величин.

Для бурения и установки свода из труб диаметром 127 мм опережающего крепления тоннеля применялись две отечественных буровых установки – БП100 и Стерх. После установки трубы прокачивались цементно-силикатным раствором (рис. 5).

Проходка под защитой свода из труб была начата с Западного портала тоннеля уступным способом. Первым этапом прошли

верхний уступ тоннеля (рис. 6 и 7), вторым этапом – нижний (рис. 8). Проходка велась комбинированно: механизированным и буровзрывным способами, в зависимости фактической крепости и устойчивости грунта.

Механизированным способом был пройден участок в слабоустойчивых грунтах, таких как глина и суглинки. Механизированная проходка осуществлялась с пикета врезки Западного портала. Временным креплением выработки тоннеля явился защитный слой из набрызг-бетона толщиной 50 мм и арко-бетонного крепления с шагом 1 м.

На месте проходки механизированным способом применялись:

- тоннельный экскаватор «Liebherr» R 924 Compact Tunnel Litronic – для проходки;
- погрузо-доставочная машина SANDVIK LH307M;
- подземный автосамосвал МоАЗ-74051-9586;
- торкрет установка Midjet МК 4,5.

Далее по мере продвижения проходки с 54 м со стороны Западного портала порода стала более крепкой и устойчивой, перешли на буровзрывной способ. Коэффициент крепости по проф. Протодяконову достигал  $f = 12$ , что влекло за собой разработку новых паспортов БВР. Временным креплением на участке проходки буровзрывным способом являлся набрызг-бетон, армированный металлической сеткой. По мере проходки нижнего уступа разработали восемь людских ниш и одну нишу для размещения электрического оборудования.

Сбойка тоннеля калоттой произошла через четыре месяца, в декабре 2023 г.

### Сооружение постоянной обделки тоннеля

Рабочей документацией предусмотрено сооружение замкнутой железобетонной монолитной обделки подковообразного очертания. Перед началом бетонирования постоянной обделки производилось крепление гидроизоляции по своду и стенам, с устройством выпусков по основанию, для дальнейшего замыкания водонепроницаемого контура (рис. 9). При устройстве гидроизоляции применялся полимерный материал Plastfoil GEO, с секционным зонированием изолируемой поверхности гидроизоляционными шпонками «Аквастоп» по деформационным и технологическим швам. Далее производится армирование постоянной обделки по своду и стенам.

Монтаж гидроизоляции и армирование производится с технологических тележек portalного типа на рельсовом ходу, входящий в состав комплекса механизированной опалубки «ГАММА» (рис. 10 и 11).

Бетонирование постоянной обделки тоннеля выполняется в направлении от Западного к Восточному portalу. Для сооружения обделки применяется передвижная механизированная опалубка «ГАММА», длиной обечайки  $L = 9,2$  м. Данная механизированная опалубка российского производства универсальна – была сконструирована для двухпутного тоннеля (Керакский тоннель, Амурская

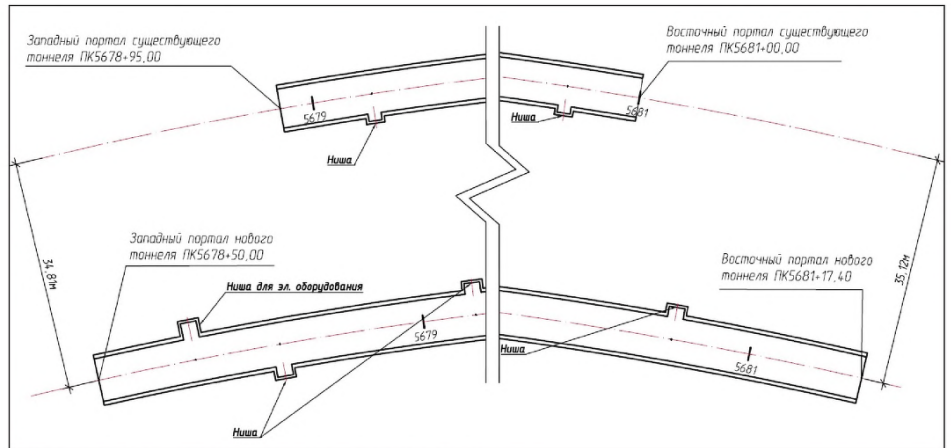


Рис. 2. Плановое расположение нового тоннеля

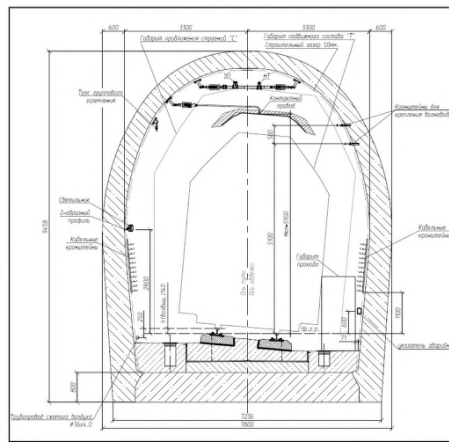


Рис. 3. Поперечное сечение нового 1-го Джебского тоннеля

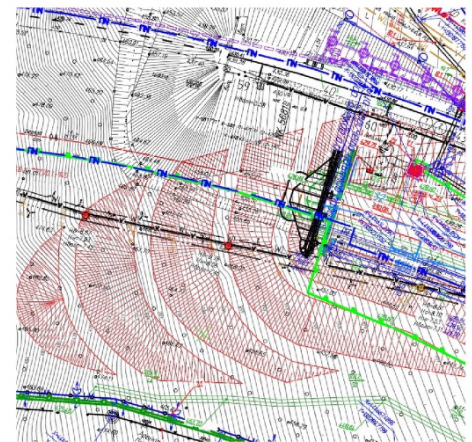


Рис. 4. Откосы выемки Восточного портала тоннеля

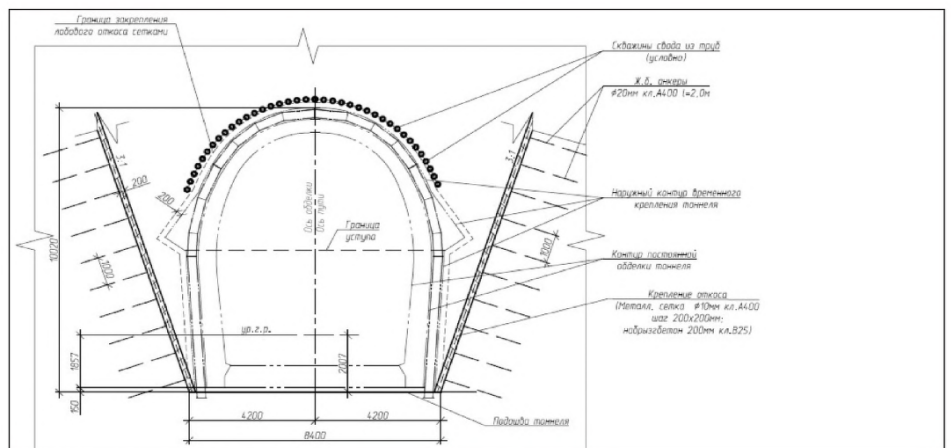


Рис. 5. Защитный экран из труб



Рис. 6. Механизированная проходка верхнего уступа тоннеля



Рис. 7. Проходка буровзрывным способом верхнего уступа тоннеля



Рис. 8. Проходка нижнего уступа со стороны Восточного портала

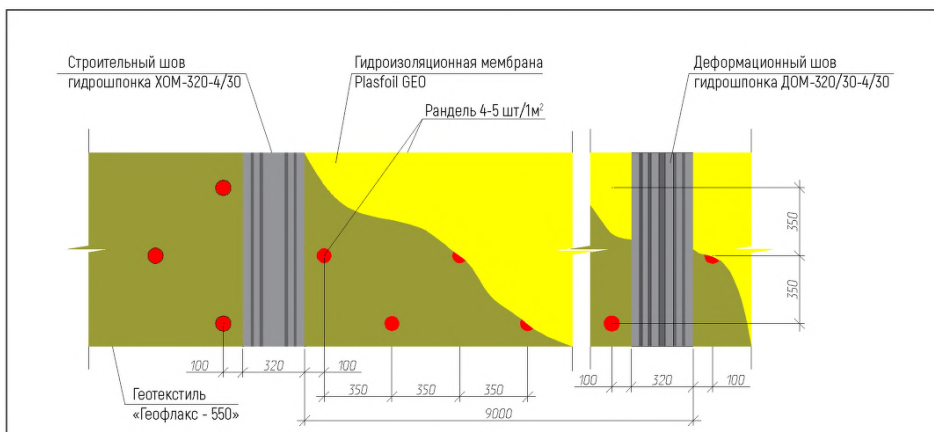


Рис. 9. Конструкция гидроизоляции



Рис. 10. Армирование постоянной обделки



Рис. 11. Устройство постоянной обделки механизированной опалубкой «ГАММА»

область), но благодаря своим особенностям, на Джебском тоннеле конструктивно изменена для устройства железобетонной обделки однопутных железнодорожных тоннелей.

Доставка готовой бетонной смеси к местам укладки осуществляется автобетоносмесителем JACON Transmix 3000, и при помощи бетононасосов «SAIDY» HBT50-13SE производится её подача в приемные окна опалубки бетоноводами диаметром 159 мм, оборудованными быстросъемными соединениями.

В настоящий момент ведется подготовка к укладке верхнего строения путей (ВСП) на рамах МГР. Для этих целей была заказана высокоточная опалубка в г. Малоярославец. Построен цех изготовления ЖБИ. Технология бетонирования рам МГР включает в себя приготовление и укладку высокомарочного бетона в подготовленную металлическую опалубку, вибрирование на вибростоле, пропарку в парокammerе, подготовку и оклейку рам и т. д. Параллельно идет подготовка оснастки для укладки ВСП: домкратов, шпилек, центраторов и т. п.

Пуск движения по новому тоннелю запланирован на 2025 г.

#### Для связи с авторами

Перегудов Андрей Анатольевич  
[peregudov@speccitystroy.ru](mailto:peregudov@speccitystroy.ru)  
 Федоров Анатолий Артемьевич  
[fedorov.aa@speccitystroy.ru](mailto:fedorov.aa@speccitystroy.ru)  
 Барабаш Дмитрий Юрьевич  
[barabash@speccitystroy.ru](mailto:barabash@speccitystroy.ru)





**13 апреля 2024 г. исполнилось 80 лет доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой Тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, заслуженному работнику высшей школы РФ, почетному железнодорожнику Александру Петровичу Ледяеву.**

После окончания факультета «Мосты и тоннели» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта в 1967 г., Александр Петрович работал инженером конструкторского отдела института «Ленметропроект» (1967–1970), занимаясь разработкой уникального проекта Генеральной схемы освоения подземного пространства Ленинграда. Вернувшись в родной институт он начал свой долгий трудовой путь от старшего инженера кафедры Тоннелей и метрополитенов,

начальника научно-исследовательского сектора, декана факультета «Мосты и тоннели» до первого проректора Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I. Будучи почетным профессором университета, работая в Диссертационном совете и возглавляя кафедру Тоннелей и метрополитенов, Александр Петрович снискал огромное уважение как среди студентов, сотрудников вуза, так и в железнодорожной отрасли в целом.

Являясь крупным ученым в области подземного строительства, первоклассным педагогом и руководителем высоко ранга, Александр Петрович вместе с тем всегда остается доступным, отзывчивым и тактичным человеком, умеющим неординарно мыслить и тонко шутить.

Умение окружить себя заинтересованными людьми и передать им знания, накопленные за долгие годы, позволили создать доброжелательную атмосферу сотрудничества, сотворчества, которая царит на возглавляемой им кафедре. Под руководством Александра Петровича выпущена целая плеяда благодарных учеников, которые сейчас являются руководителями и высококлассными специалистами ведущих организаций в области тоннелестроения. При его непосредственном участии проводится научное сопровождение проектирования, строительства и реконструкции объектов Петербургского метрополитена и транспортной системы города.

Александр Петрович Ледяев – автор более двухсот научных и научно-методических трудов, в том числе нескольких монографий, учебников и авторских свидетельств на изобретения. Возглавляя научную школу Проектирование, строительство и эксплуатация мостов и тоннелей и являясь членом общественного совета при Комитете развития транспортной инфраструктуры, Александр Петрович решает актуальные проблемы тоннелестроения и освоения подземного пространства, внося огромный вклад в развитие Санкт-Петербурга.

Весь жизненный путь Александра Петровича служит достойным примером и ценностным ориентиром для молодых поколений тоннельщиков.

*Дорогой Александр Петрович! Коллектив кафедры Тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I поздравляет Вас с 80-летним юбилеем! Желаем Вам оставаться таким же энергичным, обаятельным человеком и вырастить еще много достойных учеников!*

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНОВ И ТОННЕЛЕЙ

## EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL FRIENDLINESS OF THE USE OF COMPOSITE MATERIALS FOR THE TRACK SUPERSTRUCTURE FOR SUBWAYS AND TUNNELS

**Х. Ш. Бабаханов**, генеральный директор ООО «АКСИОН РУС»

**С. С. Приезжев**, заместитель генерального директора ООО «АКСИОН РУС» по техническому аудиту

**А. А. Бондаренко**, д. т. н., профессор, Самарский государственный университет путей сообщения

**Kh. Sh. Babakhanov**, General Director of AXION RUS LLC

**S. S. Priezzhev**, Deputy General Director of AXION RUS LLC for Technical Audit

**A. A. Bondarenko**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Samara State University of Railway Engineering

**В статье изложен опыт применения отечественных материалов верхнего строения пути из композитных материалов на эксплуатации, капитальном ремонте и реконструкции инфраструктуры Московского метрополитена, а также трамвайных путей городов европейской части РФ. Использование композитных материалов из вторичного сырья позволяет решить часть экологических проблем, связанных с утилизацией отходов.**

*The article describes the experience of using domestic materials for the superstructure of the track made of composite materials in the operation, overhaul and reconstruction of the infrastructure of the Moscow Metro, as well as tram tracks in the cities of the European part of the Russian Federation. The use of recycled composite materials can solve some of the environmental problems associated with waste disposal.*

Одной из наиболее затратных статей расходов в путевом хозяйстве ОАО «РЖД», метрополитенов, трамвайных путей и путей необщего пользования являются расходы на ремонты и текущее содержание верхнего строения пути. При этом

и тактики оптимизации расходов является архаичной в условиях современного экономического кризиса.

Кроме того, многолетний опыт эксплуатации железнодорожного пути на железобетонном основании показывает повы-

других тяжелых условиях эксплуатации.

Уникальная технология производства позволяет устанавливать гарантийный срок эксплуатации композитной железнодорожной шпалы до шести лет. Практика применения композитных шпал в метрополитене показывает, что они снижают показатели уровня шума.

Затраты при содержании и ремонте пути на композитных шпалах в несколько раз меньше, чем деревянных и железобетонных [1, 2, 3]. По данным Московского метрополитена экономический эффект от применения композитных шпал вместо деревянных в течение жизненного цикла составляет около 200 млн р. Вместо расходов на утилизацию, возможно получение прибыли при возврате отработавших шпал на переработку.

Композитные шпалы широко применяются за рубежом, включая участки бесстыкового пути и обращения подвижного состава с осевой нагрузкой до 36 т на ось. В мировой практике уже относительно давно применяются шпалы из композиционных материалов. Так, композитные шпалы уже около 40 лет применяются в Японии, и опыт их эксплуатации успешен.

С учетом опыта зарубежных компаний, проведения лабораторных испытаний в течение трех последних лет были внесены существенные изменения в технологию изготовления и состав композиционных шпал.

При производстве шпал и брусьев из композитных материалов по запатентованной ООО «АКСИОН РУС» технологии используется полностью российское сырье.

В период внедрения на территории



**Рис. 1. Характеристики шпал из полимерных композиционных материалов**



**Рис. 2. Шпалы из полимерных композиционных материалов**

значительную долю составляют расходы на содержание подрельсового основания (шпал, переводных и мостовых брусьев, плит и др). К высоким затратам на техническое обслуживание и ремонты добавляются и экологические проблемы, связанные с использованием и утилизацией деревянных, железобетонных и стальных шпал. Особенно актуальны вопросы соблюдения экологических норм в метрополитене, где в основном используются деревянные шпалы, пропитанные вредными антисептиками. В этой связи задача пересмотра стратегии

и тактики оптимизации расходов является архаичной в условиях современного экономического кризиса.

В данной статье рассмотрены предложения по применению шпал из полимерных композиционных материалов (рис. 1 и 2), как одного из факторов повышения эффективности и экологичности ведения путевого хозяйства, особенно в условиях многолетнемерзлых грунтов будущих участков Северного широтного хода, строящейся Тихоокеанской магистрали, в заболоченной местности, при низких температурах и в

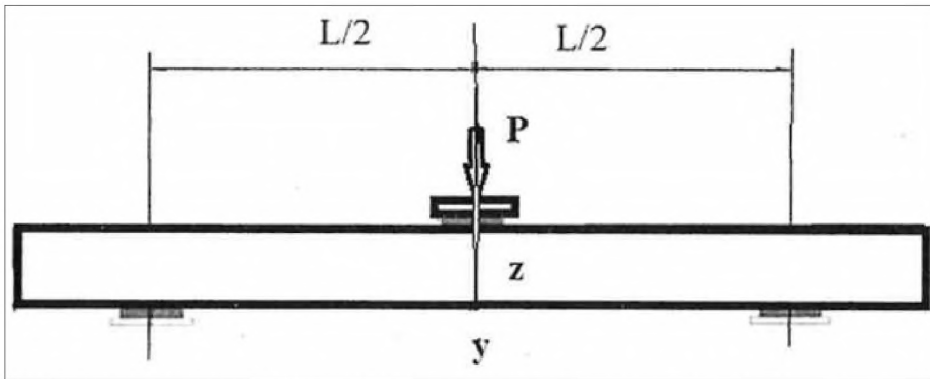


Рис. 3. Схема испытаний при определении модуля упругости и модуля разрушения

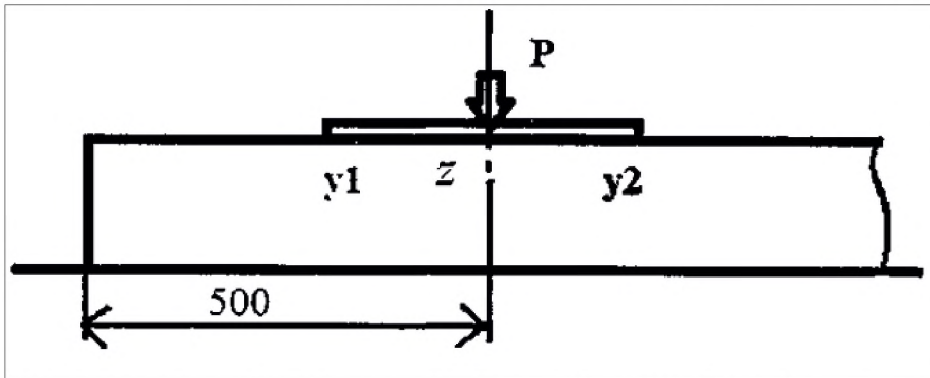


Рис. 4. Схема испытаний по определению жесткости подрельсовой площадки

России композитных материалов верхнего строения пути компанией ООО «АКСИОН РУС» выполнены все требуемые мероприятия по испытаниям и проверке качества продукции, в том числе на соответствие нормам и требованиям пожарной безопасности, подтверждением чему является полученный сертификат в системе добровольной сертификации пожарной безопасности, а также на соответствие санитарно-эпидемиологическим нормам, подтверждением чему является положительное экспертное заключение.

#### Объект исследования

Геометрические размеры композитных шпал соответствуют размерам деревянных обрезных шпал I типа [4, 5, 6, 7].

При испытаниях использовался стандарт AREMA и приведенные в нем минимальные величины рабочих характеристик (при их отсутствии в российских и межгосударственных стандартах). Результаты испытаний, а также зарубежный опыт эксплуатации показали, что значения физико-механических характеристик, влияющих на эксплуатационную надежность и работоспособность композитных шпал, выше, чем у деревянных [8, 9, 10].

#### Контроль модуля упругости и модуля разрушения

Схема испытаний при определении модуля упругости и модуля разрушения представлена на рис. 3. При испытании нагрузку (P) доводят до 100 кН, затем снижают до 0 кН и повышают повторно до разрушения образца. В момент разрушения образца по шкале испытательной машины фиксируют силу разрушения.

При первичном и вторичном нагружении

фиксируются деформации (y) и напряжения (Z) при величине P от 0 до 100 кН через 5 кН.

Модуль упругости при изгибе (MoE) рассчитывается по формуле:

$$MoE = \frac{m}{48I} L^3,$$

где m – угол наклона кривой нагрузка – прогиб, изображенной в виде прямой наклонной линии от начала координат (скорректированной с учетом первичной просадки, не отражающей свойства материала);

L – пролет нагружения, не менее 0,8 м.

$$I = \frac{1}{12bd^3},$$

где b – ширина шпалы; d – высота шпалы.

Модуль разрушения MoR рассчитывается по формуле:

$$MoR = \frac{13LP}{2bd^2},$$

где P – фактическая нагрузка при разрушении образца (кН).

#### Жесткость подрельсовой площадки

Величину вертикальной статической жесткости шпалы в подрельсовой зоне определяют по величине упругой (Y1 и Y2) и остаточной деформации (Z). Схема испытаний по определению жесткости подрельсовой площадки приложена на рис. 4.

Контроль коэффициента термического линейного расширения производят в следующем порядке.

На верхнюю часть образца длиной не менее 0,25 м наносят метки для измерения длины. Метки идут параллельно краям образцов. Штангенциркулем измеряют начальную длину образцов при комнатной температуре. Затем образцы помещают в термокамеру с рабочей температурой минус (35±1) °C и выдерживают в течение 12 ч. После температурного воздействия образцы вынимают из камеры и производится быстрое (в течение не более 60 с) измерение контрольной длины. Далее образцы выдерживают при комнатной температуре и при температуре (60±1) °C в температурной камере по 48 ч. После чего осуществляется измерение контрольной длины каждого образца.

Коэффициент линейного термического расширения (Kt) определяют по формуле:

$$K_t = \frac{1}{L_0} \times \frac{(L_2 - L_1)}{(T_2 - T_1)} = \frac{1}{L_0} \times \frac{\Delta L}{\Delta T},$$

где L1 и L2 – длины образца при температурах соответственно T1 и T2.

#### Контроль сопротивления поперечному сдвигу шпалы в балласте

Испытательное устройство представляет собой гидравлический поршень и кронштейн из стального уголка (т. е. противодействующий кронштейн), который прикрепляется к шпале. Поршень должен иметь достаточный размер для развития усилия 100 кН и ход не менее 50 мм. Гидравлический механизм должен иметь отсчётное устройство (рис. 5), которое будет отображать показание максимальной нагрузки.

При испытаниях фиксируется сила P, при которой происходит сдвиг. После завершения испытаний шпалы со скреплениями устанавливаются в рабочее положение.

Большая на 10–15 % масса композитных шпал, по сравнению с деревянными, а также текстурированные нижние и боковые плоскости обеспечивают до 1,5 раз большее сопротивление поперечному сдвигу [11, 12].

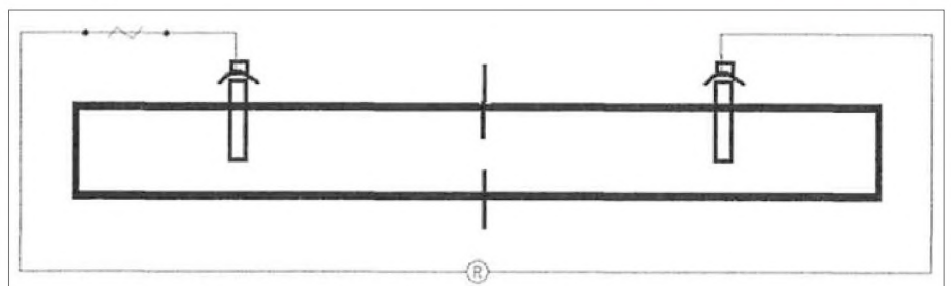


Рис. 5. Отсчётное устройство гидравлического механизма



Рис. 6. Практическая проверка композитных шпал на экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ»

Стендовые и лабораторные испытания, а также практическая проверка композитных шпал на прочность в условиях экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» (рис. 6) с пропуском по участкам с кривыми радиусом 400 и 800 м более 800 млн т груза показали, что прочностные характеристики композитных шпал в полтора раза выше, чем у деревянных аналогов.

При наработке 500 млн т груза брутто среднее изменение ширины колеи составило 1,1 мм. Подуклонка и возвышение рельсов практически не изменились.

В настоящее время завершена добровольная сертификация железнодорожной композитной шпалы на соответствие Техническим условиям для ее производства.

Результатами испытаний также установлено, что композитные шпалы обладают повышенными характеристиками на сопротивление поперечному сдвигу, позволяют обеспечить увеличение стабильности геометрии рельсовой колеи, а также обладают другими улучшенными характеристиками по сравнению с деревянными шпалами. Материал композитных шпал одновременно является диэлектриком, устойчивым к агрессивным средам и неподверженным электрокоррозии (рис. 7).

Уже наработанная практика использования шпал в метрополитенах и на трамвайных путях ряда городов России свидетельствует, что композитные шпалы и брусья всех наименований существенно снижают затраты на обслуживание, содержание и ремонт пути, а также снижают показатели уровня шума в городской черте и тоннелях [13, 14].

С 2014 г. выполняются поставки данной продукции для нужд Московского, Санкт-Петербургского, Екатеринбургского и Нижегородского метрополитенов, метрополитенов Баку и Минска с совокупным объемом поставки более 100 тыс. композитных шпал.

Также широко используются шпалы и переводные брусья из композитных материалов на путях необщего пользования некоторых металлургических и горно-обогатительных предприятий России: «ЕВРАЗ-холдинг», «Северсталь», «Норильский Никель», «Росатом», «Михайловский ГОК», «КАО АЗОТ» (рис. 8).

В целом использование композитных



Рис. 7. Основные характеристики композитных шпал



Рис. 8. Опыт эксплуатации композитных шпал

железнодорожных шпал и всех видов брусьев позволяет существенно снизить загрязнение окружающей среды.

Новая технология также позволяет дать повторное применение пластику, так как его переработка помогает решить проблему с утилизацией бытовых отходов. Композитные шпалы на 100 % состоят из переработанных материалов. Они производятся из повторно использованного в промышленности и потреблении пластика без применения вредных химических добавок. Композитные шпалы по окончании срока эксплуатации не утилизируются, а могут быть повторно использованы при производстве новых шпал, таким образом составляя замкнутый экологически чистый непрерывный цикл «производство – использование – переработка – новое использование». Тонны пластиковых отходов не попадают на свалки, не загрязняют леса и реки.

#### Двухкомпонентная ремонтная смесь ДСРШ

Для выполнения оперативного ремонта железобетонных, деревянных и композитных шпал, ООО «АКСИОН РУС» разработана двухкомпонентная смесь для ремонта шпал (ДСРШ), не имеющая в настоящее время



Рис. 9. Двухкомпонентная смесь ДСРШ для продления сроков службы

аналогов на российском рынке (рис. 9).

Смесь ДСРШ состоит из двух компонентов, реагирующих между собой при смешении через специальный смеситель, и через короткое время при застывании образующих твердый материал по плотности схожий с древесиной твердолиственных пород.

Смесь ДСРШ предназначена для продления срока службы железнодорожных шпал и других элементов верхнего строения пути, снижения финансовых и временных затрат на проведение ремонтных работ.

Один картридж смеси ДСРШ (620 мл) позволяет провести ремонт до 30 отверстий для креплений или нескольких шпал с трещинами шириной от 3 до 10 мм и более (рис. 10).

Смесь ДСРШ прошла успешные испытания в АО «ВНИИЖТ», на опытных участках нескольких метрополитенов с наработкой до 800 млн т брутто и рекомендована к применению на железных дорогах. В настоящее время широко применяется в метрополитенах страны. Так же широко применяется в Бакинском (Азербайджан) метрополитене. Проходят тестовые испытания на железных дорогах Беларуси, Индии, Германии.

Смесь ДСРШ позволяет обеспечить оперативный ремонт отверстий для креплений в деревянных железобетонных и композитных шпалах при многократной перешивке пути, а также трещин в деревянных шпалах без снижения прочности по сравнению с основным материалом, снизить материальные и трудовые затраты при проведении ремонта железнодорожного пути в разы.

В настоящее время в стадии согласования и утверждения находится распоряжение о назначении приемочных испытаний для оформления допуска предлагаемой продукции на железнодорожную инфраструктуру в соответствии с требованиями ГОСТ 33477–2015.

### Общие выводы и рекомендации

1. Шпалы и брусья из композитных материалов обладают лучшими физико-механическими характеристиками по сравнению с деревянными аналогами, а, следовательно, более высокими эксплуатационными показателями, они могут использоваться при всех видах ремонтов и строительства железнодорожного пути.

2. Композитные шпалы и брусья всех наименований рекомендуется применять в условиях многолетнемерзлых грунтов, а также на участках с агрессивной средой, высокой температурной амплитудой воздуха, кроме того, они не имеют существенного влияния на окружающую среду, соответствуют экологическим нормам выбросов вредных веществ в атмосферу по ГОСТ Р 58577–2019.

3. Применение композитных шпал и брусьев всех наименований целесообразно с учетом определения сфер их рационального применения с подготовкой технико-экономического обоснования их эффективности по сравнению с деревянными аналогами.

4. Композитные шпалы и брусья мо-



Рис. 10. Применение двухкомпонентной ремонтной смеси ДСРШ

гут быть востребованы при сооружении армогрунтовых подпорных стенок системы Террамеш, так как являются водостойкими.

5. Композитные шпалы по окончании срока эксплуатации не утилизируются, а могут быть повторно использованы при производстве новых шпал, таким образом составляя замкнутый экологически чистый непрерывный цикл «производство – использование – переработка – новое использование».

### Заключение

Использование шпал и брусьев из композитных материалов позволит существенно снизить расходы на эксплуатацию верхнего строения железнодорожного пути общего и необщего пользования, тоннелей метрополитенов, в шахтных выработках глубокого заложения, участках трамвайных путей, свести к минимуму влияние на окружающую среду.

### Ключевые слова

Путь метрополитена, композитные материалы.

Metro track, composite materials.

### Список литературы

1. Ушаков А. Е., Ермаков В. М. и др. Инновационные конструкции из полимерных и композиционных материалов. // Железнодорожный транспорт, 2023. № 8. С. 32–36.
2. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в транспортном строительстве / И. И. Овчинников, И. Г. Овчинников и др. // Интернет-журнал «Наукоедение», 2016. Т. 8. № 6 <http://naukovedenie.ru/PDF/89TVN616>.
3. Савин А. В., Борц А. И. и др. Применение композитных материалов на железнодорожном транспорте // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 1. С. 15–17.
4. Технические условия ТУ ВДМА.663500.145–01 «Шпалы композитные для железных дорог широкой колеи»

от 28.12.2023 г.

5. Технические условия ТУ 22.29.29–001–40409414–2023 «Шпалы композитные» от 23.03.2023 г.

6. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288/р

7. Инструкция по содержанию деревянных шпал, переводных и мостовых брусьев железных дорог колеи 1520 мм, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 01.10.2018 г. № 2159/р.

8. Лоумала Х., Рантала Т., Моисеенко А. С. Свойства композитных шпал: финский опыт исследования. // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 9. С. 37–38.

9. Испытания шпалы компании Vossloh из композитного материала // Железные дороги мира. 2019. № 4. С. 69–71.

10. Испытания шпал уменьшенной толщины // Железные дороги мира, 2014. № 10. С. 73–75.

11. Новакович В. И., Мироненко Е. В., Хадукеев Н.-А. С. Влияет ли масса шпалы на сопротивление сдвигу в балласте? // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 3. С. 34–36.

12. Новакович В. И., Карпачевский Г. В., Залавский Н. И. Способствует ли большая массивность элементов верхнего строения пути повышению его надежности? // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 4. С. 26–28.

13. Линия жизни: как будет развиваться трамвайное движение в Москве в ближайшие годы // Транспорт, 8.09.2022 г., В. Титов.

14. Экологичные и долговечные: шпалы из переработанного пластика уложат еще на 22 участках трамвайных линий // Транспорт, 28.01.2019, А. Поляков.

### Для связи с авторами

Бабаханов Ханлар Шахлар оглы  
Приезжев Сергей Сергеевич  
[info@axionrus.ru](mailto:info@axionrus.ru)

# КОНСТРУКЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК СВОДЧАТОГО ОЧЕРТАНИЯ С РЕБРАМИ ЖЕСТКОСТИ

## DESIGNS OF VARCHED TUNNEL LININGS WITH STIFFENING RIBS

Л. В. Маковский, к. т. н., профессор МАДИ, кафедра Мостов, тоннелей и строительных конструкций  
В. В. Кравченко, к. т. н., доцент МАДИ, кафедра Мостов, тоннелей и строительных конструкций

L. V. Makovsky, Prof. PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MADI  
V. V. Kravchenko, PhD, Department of Bridges, Tunnels and building constructions MADI

Рассмотрены конструктивные особенности обделок из набрызг-бетона с ребрами жесткости, предназначенных для тоннелей, сооружаемых горным способом в скальных и полускальных грунтах средней крепости. Отмечены основные достоинства таких обделок по сравнению с массивными обделками из монолитного бетона и железобетона. Обделки с наружными ребрами жесткости позволяют сократить размеры поперечного сечения выработки, уменьшить объем разрабатываемого грунта и снизить стоимость строительства.

Для устройства прорезей в грунтовом массиве могут быть использованы бурофрезерные агрегаты, применяемые для возведения опережающей бетонной крепи при проходке тоннелей. Указано, что для внедрения набрызг-бетонных обделок с наружными ребрами жесткости в практику тоннелестроения следует выполнить комплекс теоретических и экспериментальных исследований, по результатам которых разработать практические рекомендации.

*The design features of linings made of shot concrete with stiffening ribs intended for tunnels constructed by mining in rocky and semi-rocky soils of medium strength are considered. The main advantages of such linings compared to massive linings made of monolithic concrete and reinforced concrete are noted. Linings with external stiffeners make it possible to reduce the cross-sectional dimensions of the excavation, reduce the volume of excavated soil and reduce the cost of construction. To make slots in the soil mass, drilling and milling units can be used, which are used for the construction of advanced concrete support during tunneling. It is indicated that in order to introduce shot-concrete linings with external stiffeners into the practice of tunnel construction, a set of theoretical and experimental studies should be carried out, based on the results of which practical recommendations should be developed.*

При строительстве тоннелей горным способом в скальных и полускальных грунтах средней крепости применяют обделки сводчатого очертания преимущественно из набрызг-бетона.

Однослойные и двухслойные обделки из набрызг-бетона в отличие от массивных и жестких обделок из монолитного бетона и железобетона характеризуются повышенной гибкостью и работают совместно с грунтовым массивом. За счет этого резко ограничиваются деформации контура выработки и осадки грунтового массива, увеличивается эффективная толщина обделки за счет образования комбинированной грунтобетонной прочной конструкции.

Такие обделки возводят безопалубочным способом, что примерно вдвое сокращает трудоемкость и стоимость работ.

В нарушенных грунтах, проявляющих со временем значительное горное давление, обделка из набрызг-бетона должна быть достаточно жесткой (толщина до 300–350 мм и более) и обладать повышенной прочностью. Для этого такие обделки армируют стальными фибрами, усиливают арками или скальными анкерами. Весьма перспективны конструкции обделок из набрызг-бетона с наружными ребрами жесткости, которые располагаются в прорезях, устраиваемых в породном массиве. Ниже рассмотрены основные конструктивные особенности ребристых обделок и обосновывается целесоо-

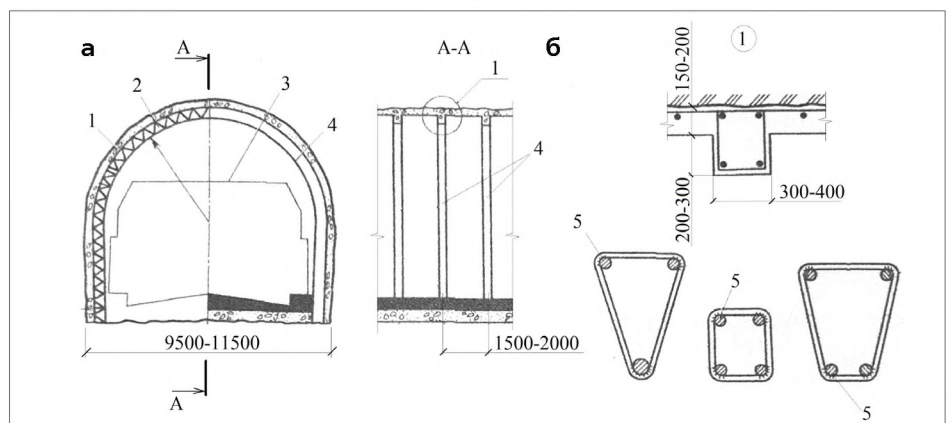


Рис. 1. Ребристая обделка из набрызг-бетона с решетчатыми арками (а) и конструкции арок (б): 1 – слой набрызг-бетона; 2 – решетчатые арки; 3 – контур габарита; 4 – внутренние ребра; 5 – арматурные стержни

бразность и эффективность их применения в тоннелестроении.

### Ребристые обделки из набрызг-бетона

В практике современного тоннелестроения в породах средней крепости находят применение набрызг-бетонные обделки с внутренними ребрами жесткости в виде решетчатых стальных арок.

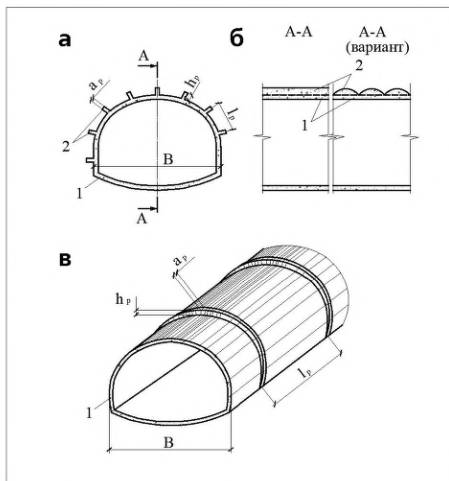
Отдельные элементы арок из сварных арматурных каркасов различного сечения устанавливают по контуру выработки с шагом 1,5–2 м вдоль оси тоннеля и соединяют между собой при помощи закладных деталей или замковых устройств (рис. 1) [1].

Установленные арки заполняют на-

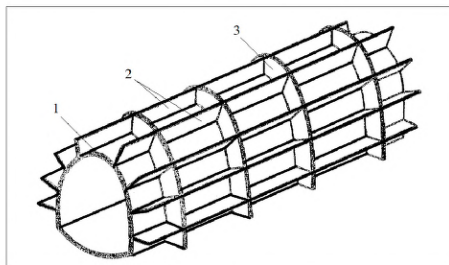
брызг-бетоном, который наносят также по стальной сетке, закрепленной по поверхности выработки между арками.

Такая обделка обладает повышенной жесткостью, несущей способностью и водонепроницаемостью, обеспечивает совместную работу крепи с грунтовым массивом. Решетчатые арки намного легче и экономичнее сплошных прокатных профилей.

Весьма перспективны конструкции обделок с наружными ребрами жесткости в прорезях, устроенных по контуру выработки в грунтовом массиве [2]. В зависимости от прочности и устойчивости грунтов, характера их напластования и степени трещиноватости ребра



**Рис. 2. Конструкция обделки с наружными продольными (а) и поперечными (б) ребрами жесткости: 1 – оболочка из набрызг-бетона; 2 – ребра жесткости**



**Рис. 3. Конструкция обделки с взаимно пересекающимися продольно-поперечными ребрами жесткости: 1 – оболочка тоннеля; 2, 3 – продольные и поперечные ребра жесткости**

жесткости могут располагаться как вдоль, так и поперек оси тоннеля, причем размеры ребер и их шаг могут быть постоянными или переменными.

В общем виде обделка состоит из набрызг-бетонной оболочки толщиной 25–30 см и ребер жесткости толщиной (0,025–0,03) В, располагаемых с шагом (0,15–0,2) В и высотой (0,05–0,1) В, где В – пролет выработки.

Ребра жесткости могут располагаться по всему контуру боковой поверхности выработки или только по ее сводовой части, а иногда и в лотковой зоне. В случае необходимости оболочка может быть усилена стальной сеткой, а ребра жесткости – арматурными каркасами, помещенными в прорези, которые устраивают специальным щеленарезным агрегатом (врубной машиной) по типу тех, которые применяют при устройстве опережающей бетонной крепи по контуру тоннеля [3].

Обделка с продольными ребрами состоит из оболочки и ребер толщиной  $a_p = 0,2–0,3$  м, высотой  $h_p = 0,3–0,5$  м и с шагом  $h_p = 1,5–2$  м по всему периметру выработки (рис. 2а) или только в её сводовой части (рис. 2б) в зависимости от свойств окружающих грунтов. Возможно устройство ребер одинаковой или разной высоты, причём вдоль оси тоннеля высота ребер может быть как постоянной, так и переменной. Обделка с поперечными ребрами толщиной  $a_p = 0,2–0,3$  м, высотой  $h_p = 0,15–0,2$  м и с шагом  $h_p = 1,2–1,5$  м показана на рис. 2в.

Ребра придают обделке дополнительную прочность и жесткость, а также закрепляют часть грунтового массива, улучшая его совместную работу с обделкой.

Расположение ребер внутри грунтового массива позволяет сократить размеры поперечного сечения тоннельной выработки, уменьшить объем разрабатываемого грунта и устраивать тонкостенную оболочку, несущая способность и жесткость которой зависят, главным образом, от шага и размеров ребер.

Такая обделка работает в грунтовом массиве лучше оболочки с анкерами, благодаря более высокой жесткости и несущей способности. При этом достигается значительное снижение материалоемкости конструкции и трудоемкости ее возведения, что приводит к снижению стоимости. Возможно устройство ребер жесткости одинаковой или разной высоты, причем вдоль оси тоннеля высота ребер может быть как постоянной, так и переменной.

В случае устройства ребер жесткости поперек продольной оси тоннеля (рис. 2в) их следует располагать с шагом, кратным величине заходки для лучшей увязки операций горнопроходческого цикла. В слабоустойчивых грунтах может оказаться эффективным применение обделок с взаимно пересекающимися продольно-поперечными ребрами жесткости (рис. 3).

Применение обделок с наружными ребрами жесткости внутри грунтового массива позволяет:

- сократить размеры поперечного сечения тоннельной выработки;
- уменьшить объем разрабатываемого грунта;
- устраивать тонкостенную оболочку, несущая способность и жесткость которой зависят, главным образом, от шага и размеров ребер;
- применять ребристую обделку в сейсмически активных районах.

Ориентировочные расчеты показывают, что ребристые обделки обеспечивают снижение объема разрабатываемой породы на 5–6 %, расхода бетона – на 40–45 % и трудозатрат на устройство ребер жесткости – на 30–40 % [3].

Для внедрения таких обделок в практику отечественного тоннелестроения необходимо проведение комплексных теоретических и экспериментальных исследований для установления рациональных параметров: шага ребер вдоль или поперек оси тоннеля, высоты и толщины ребер и др.

С этой целью необходимо выполнить серию расчетов пространственной модели системы «ребристая обделка – грунтовый массив» с использованием современных программных комплексов с варьированием перечисленных выше параметров и свойств различных грунтов [3].

Результаты расчетов численными методами следует сравнить с данными экспериментальных исследований в лабораторных или природных условиях. По данным исследо-

ваний необходимо разработать практические рекомендации по проектированию обделок с наружными ребрами жесткости.

### Заключение

При строительстве тоннелей различного назначения горным способом наряду с обделками из монолитного бетона и железобетона применяют обделки из набрызг-бетона. При значительном горном давлении набрызг-бетонные обделки усиливают стальными арками, скальными анкерами, армируют стальными фибрами.

Получили распространение обделки из набрызг-бетона с внутренними ребрами жесткости из решетчатых стальных арок, заполненных набрызг-бетоном. Такие обделки характеризуются повышенной жесткостью и прочностью и весьма эффективны при проходке тоннелей в нарушенных скальных и полускальных грунтах.

Конкуренцию этим обделкам могут составить конструкции из набрызг-бетона с наружными ребрами жесткости, которые располагаются по контуру выработки в специально устроенных прорезях. Такие обделки до настоящего времени не применялись, однако они могут оказаться весьма эффективными при строительстве тоннелей различного назначения в некрепких скальных и полускальных грунтах.

Для установления параметров таких обделок потребуется проведение теоретических исследований с использованием современных компьютерных технологий, а также лабораторных и природных экспериментов, по результатам которых должны быть разработаны соответствующие рекомендации.

### Ключевые слова

Тоннель, ребристые обделки, набрызг-бетон, ребра жесткости.

Tunnel, ribbed linings, sprayed concrete, stiffeners.

### Список литературы

1. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Проектирование автодорожных и городских тоннелей. – М. – КНОРУС, 2022. – 534 с.
2. Маковский Л. В., Кравченко В. В. Применение опережающей крепи в тоннелестроении. «Наука и техника в дорожной отрасли», 2020, № 2, – с. 19–21.
3. Интернет-ресурс:
  - URL:Режим доступа <https://tekhnosfera.com/ratsionalnye-konstruktivno-tehnologicheskie-parametry-tonnelnyh-obdelok-s-naruzhnyimi-rebrami-zhestkosti>, свободный. – (Дата обращения 21.05.2024).
  - URL:Режим доступа [https://new-disser.ru/\\_avtoferats/01003405219.pdf](https://new-disser.ru/_avtoferats/01003405219.pdf), свободный. – (Дата обращения 21.05.2024).
  - URL:Режим доступа <https://helpiks.org/3-43095.html>, свободный. – (Дата обращения 21.05.2024).

### Для связи с авторами

Маковский Лев Вениаминович  
tunnels@list.ru  
Кравченко Виктор Валерьевич  
609vkv@gmail.com



# АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ СКОРОСТЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ ДИАМЕТРОМ 6 м, СООРУЖАЕМЫХ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИМИ МЕХАНИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ

## ANALYSIS OF THE DESIGN SPEED OF CONSTRUCTION OF TUNNELS WITH A DIAMETER OF 6 m CONSTRUCTED BY TUNNEL BORING MACHINES

Е. И. Кучуркина, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»  
E. I. Kuchurkina, LLC «NRC Tunnel Association»

**Технические возможности современных ТПМК позволяют сооружать тоннели большой протяженностью и в различных инженерно-геологических условиях, достигая высоких скоростей при одновременном обеспечении качества сооружаемых конструкций и безопасности производства работ. В настоящее время вопрос определения скорости возведения тоннелей с применением ТПМК нормативной документацией не освещен.**

**Стоимость строительства при этом напрямую зависит от продолжительности эксплуатации проходческих комплексов. Целью данной работы является определение и анализ скоростей проходки тоннелей для оценки общей продолжительности работы ТПМК.**

*Technical capabilities of modern TBMs make it possible to construct tunnels of long length and in various engineering and geological conditions, achieving high speeds while ensuring the quality of the structures being constructed and the safety of work. At present, the issue of determining the speed of tunnel construction using TBMs is not covered by the regulatory documentation.*

*Construction cost in this case directly depends on the duration of operation of tunneling complexes. The purpose of this work is to determine and analyze tunneling speeds to estimate the total duration of TBM operation.*

Объемы строительства тоннелей метрополитенов с каждым годом стремительно возрастают. За 2022 г. только в Москве было построено 14 км линий, а за 2023 г. – уже 36 км.

В данной работе рассматривается сооружение перегонных тоннелей из сборной высокоточной железобетонной обделки кругового очертания с наиболее часто встречающимися при строительстве тоннелей метрополитена габаритами. Наружный диаметр – 6 м и внутренний – 5,6 м.

Скорость сооружения горизонтальных выработок тоннелепроходческими механизированными комплексами в разных источниках варьируется от 50 до 450 м/мес. и в большинстве случаев в ПОС принимается ориентировочно. Уточнение скорости проходки осуществляется на этапе разработки Технологического регламента на сооружение тоннелей щитовым способом при составлении циклограмм.

Циклограмма является единственным осно-

ванием проектных скоростей проходки, поэтому при разработке циклограмм необходимо учитывать множество определяющих факторов: инженерно-геологические условия, вид транспортировки разработанной породы из забоя, геометрические параметры трассы тоннелей в плане и профиле и др.

Технологический цикл сооружения тоннелей ТПМК включает в себя следующие основные операции [2]:

- разработка забоя;
- транспортировка разработанной породы из забоя;
- транспортировка материалов к забою;
- монтаж сборной обделки;
- нагнетание тампонажного раствора;
- передвижение комплекса;
- вспомогательные и маркшейдерские работы;
- ремонтные и профилактические работы.

В данной работе будет рассматриваться определение скоростей проходки тоннелей метрополитена на примере сравнения двух

вариантов сооружения тоннелей.

Вариант № 1: сооружение правого перегонного тоннеля ТПМК Herrenknecht S-791 с обделкой  $D_{нар}/D_{вн} = 6,0/5,4$  м и шириной кольца 1,4 м с транспортировкой разработанной породы системой ленточных конвейеров (рис. 1).

Вариант № 2: сооружение левого перегонного тоннеля ТПМК ZTE 6250 DL с обделкой  $D_{нар}/D_{вн} = 6,0/5,4$  м и шириной кольца 1,5 м с транспортировкой разработанной породы в вагонетках дизелевозом (рис. 2).

Протяженность тоннеля в обоих случаях около 1500 м. Трасса тоннелей состоит из четырех криволинейных (общей протяженностью около 741,5 м, радиус поворота от 350 до 800 м [1]) и трех прямолинейных (общей протяженностью около 691 м) участков.

Уклон трассы перегонных тоннелей изменится от 3 до 40 ‰ [1].

Грунты основания проектируемых тоннелей – суглинки водонасыщенные.



Рис. 1. Тоннельный транспорт по варианту № 1





Рис. 2. Тоннельный транспорт по варианту № 2

**Анализ и изучение исходных данных**

Рассмотрим подробнее следующие технологические операции.

**Разработка забоя**

Время, затрачиваемое на разработку породы, определяется исходя из ширины кольца и скорости резания. Скорость резания, также называемая теоретической скоростью продвига ТПМК [6], определяется согласно техническим характеристикам ТПМК и может составлять от 1 до 6 см/мин.

Скорость резания, закладываемая в расчет, принимается в зависимости от инженерно-геологических условий (тип породы, наличие подземных вод и т. д.) и геометрии трассы тоннеля в плане [5] (прямой или кривой участок, на кривых участках скорость резания ниже, чем на прямых).

В рассматриваемых инженерно-геологических условиях на прямых участках скорость резания принята 3 см/мин, на кривых – 2 см/мин.

**Транспортировка разработанного грунта**

В варианте №1 транспортировка породы производится дизелевозом в шести вагонетках с кублами по 5 м<sup>3</sup>. Объем разрабатываемого грунта с K<sub>р</sub> = 1,35 составит 62 м<sup>3</sup>. В данном случае учитывается время формирования и транспортировки грузов на уклоне 0,039 со скоростью 5 км/ч, средняя дальность возки (половина перегона), вынужденные остановки продвига ТПМК на время вывоза породы и возврата порожняка из-за ограничения веса поезда мощностью дизелевоза

В варианте № 2 транспортировка породы осуществляется посредством ленточных конвейеров параллельно с разработкой породы. Также учитывалось время на наращивание конвейеров по трассе.

**Работы по техническому обслуживанию ТПМК (профилактические)**

Для обеспечения безопасности проходки и нормальной работы ТПМК ежедневно необходимо производить работы по его техническому обслуживанию. Перечень таких ежедневных работ, согласно инструкции по эксплуатации ТПМК, представлен в табл. 1.

Согласно табл. 1 продолжительность ежедневных работ составляет 4 ч. Из этого следует, что при определении технологической скорости необходимо закладывать 20 маш/ч в сутки, а не 24 ч.

**Продолжительные ремонтные работы**

В отличие от вспомогательных работ (наращивание коммуникаций, маркшейдерские работы и т. д.), которые производятся на протяжении всего цикла параллельно с другими операциями, ремонтные работы требуют обязательной остановки ТПМК. Необходимо учитывать регламентные работы по обслуживанию работоспособности

ТПМК, требующие обязательной остановки проходки, превышающие по продолжительности время, предусмотренное на ежедневные профилактические работы. Необходимость в таких ремонтных работах, а также их периодичность определяется исходя из состояния механизмов и систем ТПМК, а замена или ремонт запчастей происходят при полной остановке комплекса.

Таблица 1

**Продолжительность ежедневных работ по техническому обслуживанию (ТО), требующих остановки ТПМК, на основании инструкции по эксплуатации**

Узел/детали	Общее время проведения проверки, мин
1. Буровая головка/режущий ротор	60
2. Главный привод	33
3. Шнековый транспортёр	10
4. Блокоукладчик	14
5. Захватная система (тюбинг, установочная плита механическая)	15
6. Устройство для подачи тюбингов	19
7. Гидроагрегат	14
8. Смазка конс. смазкой	5
9. Ленточные транспортёры	15
10. Крановые установки и подъемники	5
11. Водяные контуры	4
12. Нагнетание раствора за тюбинг	24
13. Компрессорная установка	4
14. Кабельный барабан	4
15. Электрооборудование	15
Общее время проведения ежедневного ТО, мин	241
Общее время проведения ежедневного ТО, час	4,0

Были проанализированы инструкции по эксплуатации и отчет о ремонтных работах ТПМК на схожем объекте. Суммарное время на ремонтные работы на перегоне протяженностью 1,5 км:

- для ТПМК Herrenknecht S-791 (вариант № 1) составит 1245 ч;
- для ТПМК ZTE 6250 (вариант № 2) с учетом отсутствия конвейера – 1045 ч.

Для того чтобы учесть данные продолжительные ремонтные работы, при составлении циклограмм это суммарное время пересчитывается на одно кольцо и с учетом совмещения работ.

### Продолжительность строительства

Продолжительность работ определяется по п. 7.2 и табл. 14 [3]. Также ввиду строительства перегона из двух тоннелей принимается во внимание п. 7.2.2 [3] «...Для определения продолжительности строительства перегона из двух однопутных тоннелей ... добавлять 3 мес. при длине перегона свыше 1,5 км...»

Нормы продолжительности строительства перегонных тоннелей и притоннельных сооружений объектов Московского метрополитена приведены в табл. 2.

Продолжительность строительства перегонных тоннелей согласно этой таблице и п. 7.2.2 составит 15,3 месяцев, именно такое значение закладывалось в ПОС и составлялся календарный график проходки. Но данная продолжительность указана для строительства тоннеля со всеми строительными конструкциями и коммуникациями. Из 15,3 месяцев продолжительность эксплуатации самого проходческого комплекса составит 9,8 месяцев (2 месяца на концевые участки + 1,8 месяцев на ремонтные работы + 6 месяцев на проходку тоннеля). Выходит, что почти полгода ТПМК не будет эксплуатироваться, а сутки такого простоя ТПМК обойдутся примерно в 2–2,5 млн р.

### Разработка циклограмм

Циклограммы проходки одного кольца разрабатываются с учетом последовательности технологических операций, выполняемых при его сооружении, и выполнения ежедневных профилактических и ремонтных работ, требующих остановок ТПМК на 4 ч, и кроме того работ, требующих длительных остановок (для замены резцов, наращивания питающего ТПМК кабеля и ленточного конвейера, замены щеток хвостового уплотнения и др.).

По опыту проходческих работ средняя скорость проходки перегонных тоннелей диаметром 6 м, чаще всего закладываемая в ПОС, составляет 250 пм/мес. Примем данную скорость, как начальную для расчета. При такой скорости продолжительность проходки основного участка (без концевых отрезков) составит около 6 месяцев.

Формула (1) для расчета скорости проходки:

$$V = \frac{N_{\text{маши/час}} \times 30 \text{ дн}}{t_{\text{цикла}}} \times b_{\text{кольца}} \text{ [пм/мес]} \quad (1)$$

#### Вариант № 1

Доставка материалов к забою производится мультитранспортом. Загрузка и разгрузка блоков, приготовление, загрузка и доставка материалов суммарно составят 1,5 ч. Подробно продолжительность остальных технологических операций рассматривалась ранее.

Суммарная продолжительность ежедневных профилактических работ составит в данном варианте:

$$t = 6 \text{ мес} \times 30 \text{ дн} \times 4 \text{ ч} = 720 \text{ ч.}$$

Полученная продолжительность ремонтных работ, закладываемая в циклограмму (п. 11), с учетом совмещения составит:

$$\tau = \frac{1245 \text{ ч} - 720 \text{ ч}}{1000 \text{ колец}} = 0,52 \text{ ч/кольцо} \sim 30 \text{ мин/кольцо.}$$

После учета всех ранее перечисленных факторов, было составлено две циклограммы: для прямолинейных (рис. 3) и криволинейных участков (рис. 4).

Скорость проходки для прямолинейных участков составит:

$$V_{\text{пр.}} = \frac{20 \text{ ч} \times 30 \text{ дней}}{3,3_{\text{час}}} \times 1,4 \text{ м} = 254 \text{ м/мес.}$$

Скорость проходки для криволинейных участков составит:

$$V_{\text{крив.}} = \frac{20 \text{ ч} \times 30 \text{ дней}}{3,8_{\text{час}}} \times 1,4 \text{ м} = 221 \text{ м/мес.}$$

Средняя скорость проходки на всю трассу:

$$V_{\text{ср.}} = \frac{221 + 254}{2} = 237,5 \text{ м/мес.}$$

#### Вариант № 2

Доставка материалов к забою осуществляется дизелевозом двумя составами со скоростью 5 км/ч [4].

Суммарная продолжительность ежедневных профилактических работ составит с учетом совмещения работ:

$$t = 6 \text{ мес} \times 30 \text{ дн} \times 4 \text{ ч} = 720 \text{ ч.}$$

Полученная продолжительность ремонтных работ, закладываемая в циклограмму (п. 12), составит (рис. 5):

$$\tau = \frac{1045 \text{ ч} - 720 \text{ ч}}{933 \text{ колец}} = 0,34 \text{ ч/кольцо} \sim 20 \text{ мин/кольцо.}$$

Скорость проходки для прямолинейных участков составит (рис. 6):

$$V_{\text{пр.}} = \frac{20 \text{ ч} \times 30 \text{ дней}}{3,8_{\text{час}}} \times 1,5 \text{ м} = 237 \text{ м/мес.}$$

Таблица 2

Нормы продолжительности строительства перегонных тоннелей и притоннельных сооружений объектов метрополитена [3]

N п/п	Наименование объекта	Характеристика объекта	Единица мощности в натуральных показателях	Протяженность	Нормы продолжительности строительства, мес
					общая
1	Строительство перегонных тоннелей закрытым способом с применением тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК)	Тоннель со всеми строительными конструкциями, путями и технологическим оборудованием, системы связи, автоматизации сигнализации, видеонаблюдения, пожаротушения и т.д. пусконаладочные работы. Диаметр тоннеля по внутреннему сечению от 5,0 до 6,5 м	Перегон	до 0,5 км	7,3
2				до 1,0 км	11,4
3				до 1,5 км	12,3
4				до 2,0 км	16,4
5				до 2,5 км	20,6

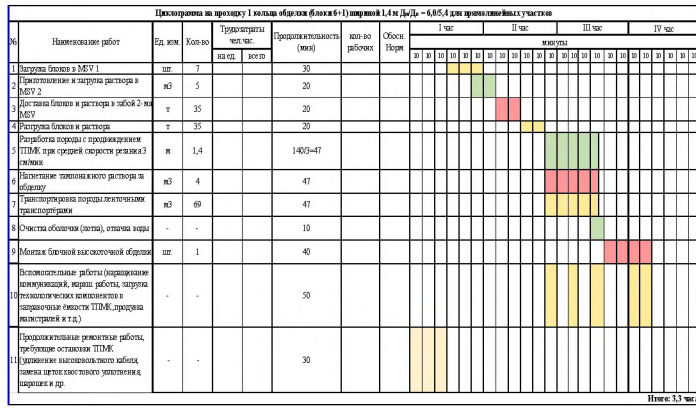


Рис. 3. Циклограмма на проходку 1 кольца по варианту № 1 для прямолинейных участков

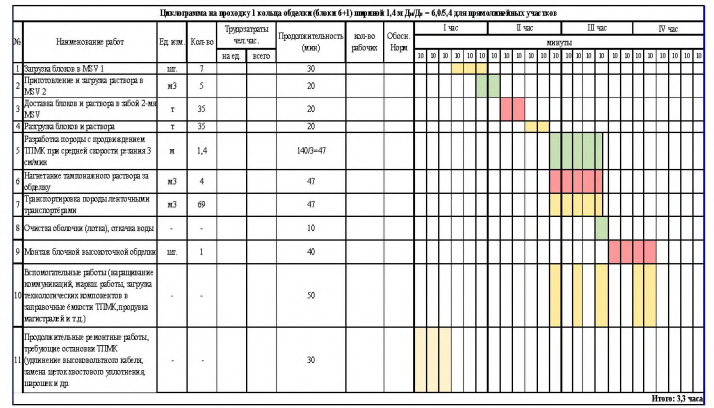


Рис. 4. Циклограмма на проходку 1 кольца по варианту № 1 для криволинейных участков

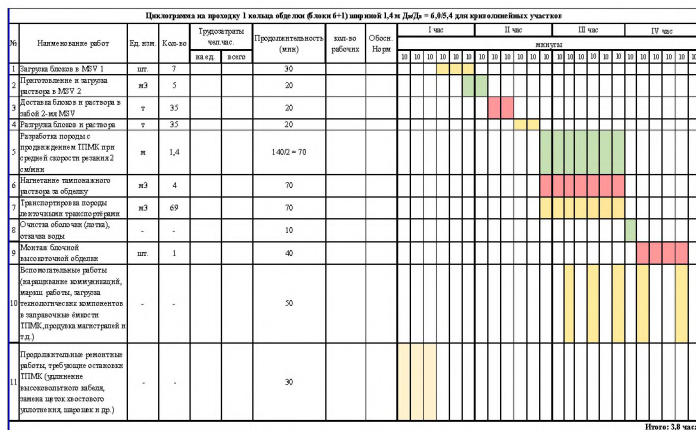


Рис. 5. Циклограмма на проходку 1 кольца по варианту № 2 для прямолинейных участков

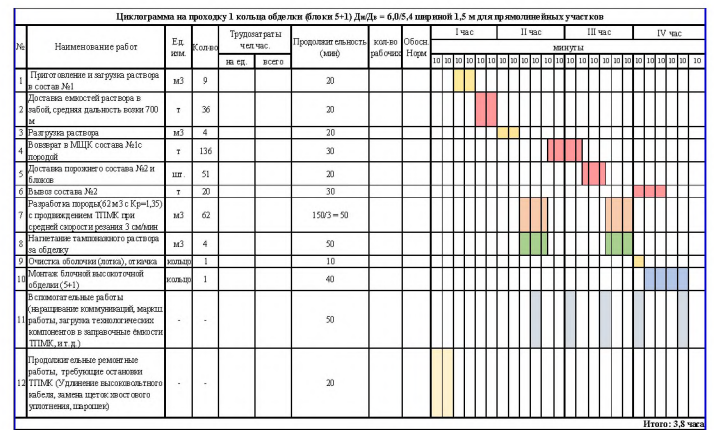


Рис. 6. Циклограмма на проходку 1 кольца по варианту № 2 для криволинейных участков

Скорость проходки для криволинейных участков составит:

$$V_{пр.} = \frac{20 \text{ ч} \times 30 \text{ дней}}{4,17 \text{ мес.}} \times 1,5 \text{ м} = 216 \text{ м/мес.}$$

Средняя скорость проходки на всю трассу:

$$V_{ср.} = \frac{237 + 216}{2} = 226,5 \text{ м/мес.}$$

**Выводы**

В заключение хотелось бы выделить основные моменты, которые были определены в процессе выполнения данного исследования.

1. Время работы ТПМК для расчета скорости по формуле (1) – 20 ч в сутки, так как 4 ч в сутки занимают обязательные профилактические работы (ГО).

2. Продолжительность строительства перегонных тоннелей (определяемая по [3]) – это время полного сооружения тоннелей, которое включает в себя время на непосредственно щитовую проходку без учета времени на устройство коммуникаций, верхнего строения пути и других работ. Это необходимо учитывать при разработке календарных графиков проходки, в сметной документации при определении количества маш/часов работы ТПМК и т. д.

Скорость проходки ТПМК определяется как усредненное значение скоростей проходки криволинейных и прямолинейных участков. При этом, для прямолинейных участков принимается скорость резания, обоснованная техническими характеристиками ТПМК, а на криволинейных – значение, меньшее на 1–2 см/мин.

3. При определении продолжительности проходки тоннелей необходимо учитывать длительные ремонтные работы, требующие полной остановки комплекса. Для учета продолжительности этих работ при разработке циклограмм необходимо закладывать дополнительно 20–30 минут на один цикл.

4. Для рассмотренных вариантов проходки тоннелей одинакового диаметра получены следующие показатели:

- скорость проходки на криволинейных участках 216–221 мм/мес;
- скорость проходки на прямолинейных участках 237–254 мм/мес;
- итоговая (средняя) скорость 226,5–237,5 мм/мес.

5. Скорость проходки тоннелей с применением ТПМК зависит от множества условий. Определить степень значимости тех или иных аспектов при расчете средней скорости не представляется возможным. Однако следует заметить, что в первую очередь при расчете скорости сооружения тоннелей и продолжительности строительства рекомендуется учитывать аспекты, рассмотренные в данной работе.

**Список литературы**

1. СП 120.13330.2022 Метрополитены.
2. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011 Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки.
3. МРР-3.2.81-12 Рекомендации по определению норм продолжительности строительства зданий и сооружений, строительство которых осуществляется с привлечением средств бюджета города Москвы.
4. ПБ 03-428-02 Правила безопасности при строительстве подземных сооружений.
5. Меркин В. Е., Самойлов В. П. Руководство по проектированию и строительству тоннелей щитовым методом – перевод с английского языка с дополнениями и коммент., 2009 г. – 446 с.
6. Технические рекомендации по проектированию двухпутных тоннелей метрополитена, сооружаемых щитами с активным пригрузом забоя и водонепроницаемой сборной железобетонной обделкой в гидрогеологических условиях московского региона, 2018 г.

**Ключевые слова**

Тоннели, тоннелепроходческие машины, скорость проходки.  
Tunnels, tunnel boring machines, tunnelling rate.

**Для связи с автором**

Кучуркина Екатерина Ильинична  
kuchurkina.ei@nizta.ru



# КОНСЕРВАЦИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ НА УЧАСТКЕ АРТЫШТА – ТОМУСИНСКАЯ

## CONSERVATION OF THE RAILWAY TUNNEL ON THE SECTION ARTYSHTA – TOMUSINSKAYA

В. А. Гурский, к. т. н., А. В. Попов, М. Н. Кормин, Д. В. Мищенко, ООО НИЦ «Бамтоннель»

V. A. Gurskiy, candidate of technical sciences, A. V. Popov, M. N. Kormin, D. V. Mischenko, LLC NRC "Bamtonnel"

На участке железной дороги Артышта – Томусинская Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры в 2018 г. принят в эксплуатацию однопутный тоннель, построенный рядом с существующим тоннелем, эксплуатируемым с 1967 г. После пуска нового тоннеля старый тоннель законсервирован с последующим выполнением геотехнического мониторинга в течение всего срока консервации. В настоящей статье приведены основные результаты наблюдений за техническим состоянием конструкций и обустройств тоннеля, его обводненностью и напряженно-деформированным состоянием обделки и вмещающих грунтов.

*On the section of the Artyshhta – Tomusinskaya railway, the West Siberian Directorate of Infrastructure commissioned a single-track tunnel in 2018, built next to the existing tunnel, which has been in operation since 1967. After the launch of the new tunnel, the old tunnel is mothballed, followed by geotechnical monitoring throughout the entire mothballing period. This article presents the main results of observations of the technical condition of the tunnel structures and equipment, its water content and the stress-strain state of the lining and surrounding soils.*

Железнодорожный однопутный тоннель длиной 1157,87 м колеи 1520 мм построен в 1963–1967 гг. по проекту института «Сибгипротранс» с комбинированной обделкой: подковообразной бетонной (М150) без обратного свода и кругового очертания из чугунных тубингов на западном припортальном участке длиной 312 м. Поперечное сечение соответствует габариту приближения строений «С» по ГОСТ 9238-59. Продольный профиль двухскатный с уклонами  $i = 7,4 ‰$  и  $i = 3,0 ‰$ .

Вмещающие грунты на участке с подковообразной обделкой представлены переслаивающимися песчаниками, алевролитами и углями, а на участке с тубинговой обделкой, в основном, аргиллитами.

По результатам специальных обследований технического состояния тоннеля в 2008–2009 гг. были выявлены многочисленные производственные и деградиционные дефекты в монолитной бетонной и чугунной тубинговой обделках. Интенсивное обводнение с образованием в зимний период опасных наледей на поверхности обделки и основании, часто с выходом на путь, в трещинах и порах бетона, что привело к его деструкции, снижению прочности и образованию дефектов в виде отслоений, вывалов и трещин различной ориентации.

Сооруженные 11 дренажных прорезей, незаглубленных за зону сезонного промерзания, а также тупиковая дренажная штольня длиной 358 м со стороны западного портала эффективного осушения тоннеля не обеспечивали. Кроме этого, отсутствие обратного свода обуславливало пучение грунтов в основании тоннеля. Обводнение верхнего строения пути (ВСП) вызывало пучины балласта, горбы и перекосы пути в зимний период, а в летний период просадки и грязевые вышлески.

Учитывая фактическое техническое состо-

яние тоннеля и результаты специальных обследований, в 2010 г. было принято решение о разработке проекта строительства нового однопутного тоннеля параллельно существующему. Работы по реконструкции тоннельного пересечения начали в 2012 г., а в постоянную эксплуатацию новый тоннель приняли в октябре 2018 г. В рамках проекта реконструкции тоннельного пересечения были разработаны технические решения по подготовке к консервации действующего тоннеля, предусматривающих усиление аркобетонной крепью восточного припортального участка бетонной обделки длиной 160 м, исчерпавшей запас несущей способности, а также ликвидацию существующей тупиковой дренажной штольни (рис. 1).

Заполнение штольни выполнялось бетоном класса В12,5 при проходке калотты нового тоннеля через пробуренные из него

скважины с обсадной трубой-бетоноводом  $D = 159$  мм.

После перевода движения поездов в завершённый строительством новый тоннель в старом тоннеле демонтировали ВСП и существующие водоотводные лотки. По вскрытому нижнему строению пути в основании тоннеля уложили бетон с устройством по его оси водоотводного лотка, перекрытого перфорированной стальной крышкой. На западном и восточном участках лотка соорудили приемки для выпуска поступающей из лотка воды в соответствующие порталные выемки по закрытым трубопроводам. Кроме этого, на порталах установили неутепленные перемычки из листовой стали с распашными воротами и калитками для прохода обслуживающего персонала. В сводовой части перемычек предусмотрены отверстия для естественной вентиляции

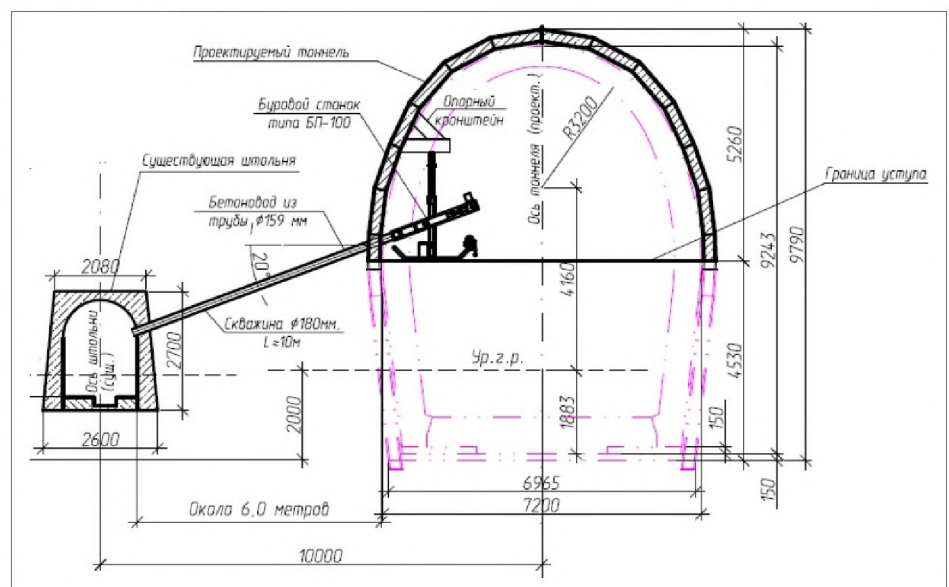


Рис. 1. Ликвидация существующей штольни



**Рис. 2. Наледи в тоннеле: а – западный припортальный участок; б – восточный припортальный участок (сталактиты и сталагмиты); в – наледи в путевой камере на восточном припортальном участке**

тоннеля. При необходимости увеличения воздухообмена внутритоннельной атмосферы в указанных отверстиях предусматривались установки вентиляторов.

В результате проведенных организационно-технических, осушительных мероприятий, пуско-наладочных работ в новом тоннеле и открытием движения поездов по нему, действующий тоннель был приведен в безопасное техническое состояние и законсервирован.

Опираясь на положения РД 07-291-99 «Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами» (не действует с 01.01.2021, отменен Постановлением Правительства РФ от 6 августа 2020 г. № 1192),

разработана программа мониторинга технического состояния несущих конструкций тоннеля и напряженно-деформированного в системе «обделка – вмещающие грунты» на период консервации.

Согласно программе мониторинга по длине тоннеля в фиксированных створах оборудованы наблюдательные станции для измерений относительных деформаций бетонной обделки, а также смещений контура внутреннего очертания обделки на бетонном и тюбинговом участках.

С 2018 г. в законсервированном тоннеле ведутся ежемесячные визуальные, инструментальные и геофизические наблюдения за обводненностью, динамикой деформационно-прочностных параметров обделки и напряженностью вмещающего грунтового массива.

За весь период наблюдений в тоннеле отмечается вялотекущий деградиционный процесс снижения уровня технического состояния тоннельной обделки, обусловленный её обводненностью в результате проникновения подземной воды через трещины и другие дефекты в бетоне, через стыки и болтовые соединения тюбинговой обделки. В результате сезонных знакопеременных колебаний температуры внутритоннельного воздуха образуются наледи, в основном, на припортальных участках (рис. 2).

В средней части тоннеля в течение зимы, как правило, наледи не образуются (рис. 3) и температура не опускается ниже  $+3^{\circ}\text{C}$ , при средней годовой температуре воздуха в районе расположения тоннеля минус  $0,7^{\circ}\text{C}$  и средней температуре января минус  $25^{\circ}\text{C}$ . Ранее, во время эксплуатации тоннеля при его сквозном проветривании наледи образовывались на большей части бетонной обделки.

В процессе мониторинга технического состояния тоннеля по результатам ежемесячного визуального обследования составляют карту-развертку обделки с нанесением на неё местоположения обнаруженных дефектов и видов водопроявлений. Анализ полученных данных показывает, что в законсервированном тоннеле цикличность видов и дислокация мест водопроявлений в значительной степени зависит от времени года, имеющих нарушения целостности бетонной обделки, расстройств уплотнений стыков и болтовых соединений тюбинговой обделки, а также распределения температуры внутритоннельного воздуха по длине сооружения.

Внутритоннельный температурный режим является определяющим и основным фактором в динамике внутренних напряжений в обделке, наблюдения за которыми осуществляют путем измерения относительных деформаций на 17 наблюдательных станциях с помощью ручного компаратора и струнных деформометров (рис. 4). По полученным значениям относительных деформаций и модуля деформации бетона в соответствии с законом Гука определяют напряжение на поверхности обделки.

На рис. 5 представлены графики сезонного изменения напряжений на поверхности бетонной обделки на наблюдательных станциях за пятилетний период наблюдений. Из графиков видно, что изменения напряжений цикличны от максимально сжимающих в июле-сентябре до максимально растягивающих в январе-марте. При этом амплитуда абсолютных значений напряжений от растягивающих к сжимающим на различных станциях отлична в зависимости от распределения температуры воздуха и обделки по длине тоннеля.

Наблюдения за напряженно-деформированным состоянием тоннельной обделки показывают, что система «тоннельная обделка – вмещающий грунт» находится в стабильном напряженном состоянии, а наблюдаемые температурные напряжения растяжения-сжатия не приводят к упругопластическим или пластическим деформациям обделки.

Одним из важных составляющих мониторинга является оценка геодинамических процессов во вмещающем породном массиве, оказывающих влияние на напряженно-деформированное состояние обделки тоннеля.

Контроль этих процессов основан на регистрации естественных импульсов электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ), возникающих при аномальном изменении магнитной составляющей электромагнитной эмиссии горных пород в местах скачков геомеханических напряжений или сдвижения пород.

За весь период наблюдений опасных геодинамических процессов в тоннельной обделке и вмещающем тоннель породном массиве не зафиксировано.

При рассмотрении графиков напряженности массива грунтов в различные времена года обнаруживается три характерных участка по длине тоннеля:

- ПК 1053+16 – ПК 1056+40 – участок тоннеля с обделкой кругового очертания заложен в слабых грунтах. Значения условного показателя напряженности (коэффициента регрессии В) здесь имеют большой разброс в течение года, что указывает на отсутствие активных геодинамических процессов, обусловленных невозможностью накопления и высвобождения энергии при растяжении-сжатии грунтов с низким модулем деформации и легко разрушающимися структурными связями;
- ПК 1056+40 – ПК 1059+80 – участок с подковообразной монолитной бетонной обделкой заложен в скальных, трещиноватых и обводненных грунтах. Графики напряженности на этом участке имеют меньшую амплитуду значений, характеризующие стабильно напряженное состояние в течение всего года, незначительно изменяющееся с сезонными температурными воздействиями;
- ПК 1059+80 – ПК 1064+56 – участок с подковообразной монолитной бетонной обделкой с усилением на порталном участ-



Рис. 3. Водопроявления в средней части тоннеля в зимний период



Рис. 4. Компаратор с индикатором часового типа и струнный деформометр

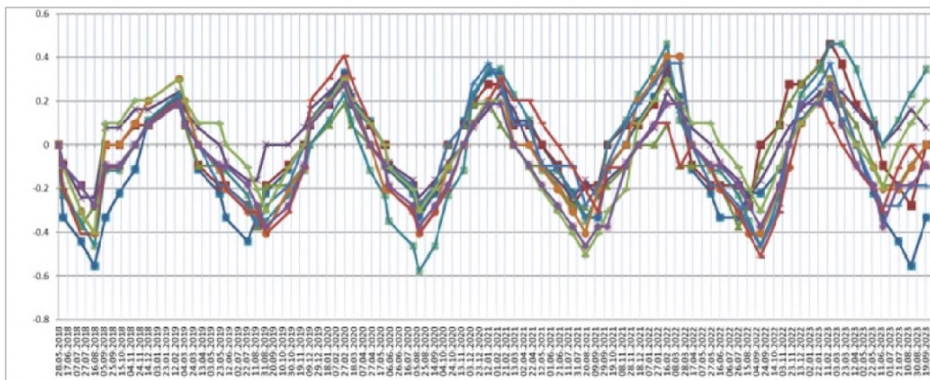


Рис. 5. Графики сезонного изменения напряжений на поверхности бетонной обделки

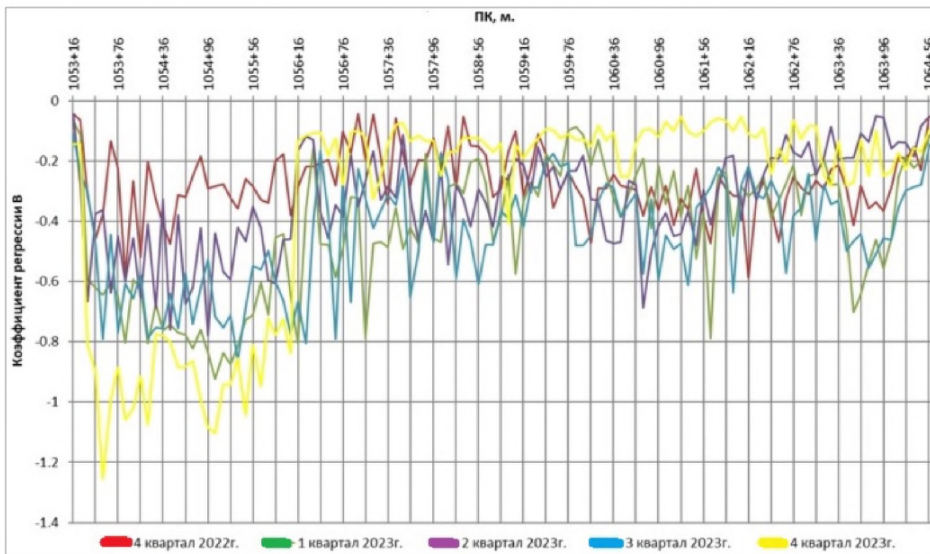


Рис. 6. Графики напряженности в системе «обделка – породный массив» по длине тоннеля

ке длиной 150 м аркобетонной рубашкой заложены в скальных, трещиноватых и обводненных грунтах. На участке отмечается интервал стабильно напряженного состояния на ПК 1060+60 – ПК 1062+30 и интервал с относительно пониженной напряженностью от ПК 1062+30 до ПК 1064+56, где вмещающие грунты раздроблены, сильно обводнены и подвержены сезонному замораживанию и оттаиванию.

Инструментальными наблюдениями за внутренним очертанием тоннельной обделки методом засечек в фиксированных сечениях по длине тоннеля не выявлены смещения контура относительно данных первичных измерений.

Измерениями прочности бетона мо-

нолитной обделки неразрушающим методом выявлен значительный разброс значений прочности по длине участка – от 21,6 до 45,4 МПа, что может быть связано с различным качеством бетонной смеси на отдельных захватках бетонирования во время строительства и последующим развитием деградиционных процессов при эксплуатации сооружения.

## Выводы

1. Мониторинг технического состояния законсервированного тоннеля позволяет анализировать характер природно-климатических воздействий на сооружение, фиксировать и оценивать напряженно-деформированное состояние в системе

«обделка – вмещающий грунт», а также геодинамические процессы в породном массиве и деградиционные процессы в несущих конструкциях, что дает основание для прогноза безопасности сооружения до начала его реконструкции или ликвидации.

2. В настоящее время техническое состояние тоннельных конструкций оценивается как ограниченно работоспособное, обусловленное вялотекущими деградиционными процессами в виде коррозии стальных тубингов, выщелачивания цементного камня бетонной обделки в местах течей, морозной деструкции бетона на припортовых участках.

3. Напряженно-деформированное состояние обделки стабильно. Незначительные колебания напряжений (растяжения-сжатия) на поверхности обделки находятся в зависимости от сезонных колебаний температуры воздуха и обделки внутри тоннеля.

4. Мелкое заложение порталных участков тоннеля и разрушенное мощение запортального водовода обуславливают проникновение ливневых и талых вод внутрь тоннеля, вызывая наледообразование в осенне-зимний период.

5. Недостаточное утепление порталных ворот способствует распространению низких отрицательных температур внутрь тоннеля на значительное расстояние от порталов, что усиливает морозную деструкцию бетона обделки.

6. В период консервации тоннеля должны выполняться необходимые работы по обеспечению функционирования обеспечивающих систем и устройств для поддержания сооружения в исправном состоянии.

## Список литературы

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», статья 3.
2. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.1997 г.
3. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002 г.
4. ГОСТ Р 27751-2014, п. 10.5 «Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования».
5. СП 122.13330.2023, п. 5.17 «Тоннели железнодорожные и автодорожные» (актуализированная версия СНиП 32-04-97).
6. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
7. Проведение горно-экологического мониторинга в законсервированном железнодорожном тоннеле на перегоне Курегеш – Карлык Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры (материалы технического отчёта), 2024 г.

## Ключевые слова

Железнодорожный тоннель, консервация, мониторинг.

Railway tunnel, conservation, monitoring.

## Для связи с авторами

Попов Андрей Викторович  
popov7118@mail.ru



# ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОПУСКНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ УЧАСТКОВ ПУТИ МЕТРОПОЛИТЕНА И ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ РЕЖИМЕ

## PRACTICAL VALUES OF METRO TRACK CAPACITY AND DEPENDENCE OF PASSENGER SPEEDS IN OPERATING MODE

Д. Е. Шабунина, В. С. Кудрявцев, ООО «Центр исследований опасных факторов пожара»  
D. E. Shabunina, V. S. Kudryavtsev, Center for Research of Fire Hazards

Объемно-планировочные решения метрополитенов влияют на безопасность и комфорт пассажиров. В статье приведены визуальные наблюдения на загруженных станциях Петербургского метрополитена с целью определения достоверных значений максимальной пропускной способности участков пути метрополитена и зависимостей скоростей движения пассажиров на различных топологиях от плотности людского потока. Установлено, что максимальная пропускная способность эскалатора составляет 5300 чел./ч, турникета – 1400 чел./ч, дверей типа «метро» – 3600 чел./ч. Получены зависимости скоростей движения пассажиров различных групп мобильности, используемые в качестве исходных данных при агентном моделировании.

*Space-planning solutions of subways effect on the safety and comfort of passengers. The paper presents visual observations at busy stations of St. Petersburg subway in order to determine accurate values of maximum traffic capacity of subway route sections and dependences of passenger traffic speeds on different topologies on the density of human flow. It was found that the maximum capacity of escalator is 5300 people/hour, turnstile – 1400 people/hour and doors of «subway» type – 3600 people/hour. Dependences of passenger speeds of different mobility groups were obtained and used as input data for agent-based simulation.*

Метрополитен является самым эффективным видом городского транспорта с точки зрения скорости движения и перевозимого количества пассажиров, что обуславливает его применение в крупных городах. Метрополитен, в отличие от другого общественного транспорта, обладает высокой пропускной и провозной способностью, неподверженностью влиянию других видов транспорта и уникальными условиями эвакуации, заключающимися в движении вверх [1, 2]. Согласно данным Московского и Петербургского метрополитенов, ежедневно метро в Москве и в Санкт-Петербурге пользуются более 7 млн и более 4 млн человек соответственно [3]. Объемно-планировочные решения метрополитена должны подвергаться анализу с точки зрения безопасного и комфортного передвижения пассажиров в зависимости от перспективного пассажиропотока, при резком увеличении которого существующие метрополитены могут столкнуться с проблемой невозможности управления движением людского потока и с недостаточным количеством средств попутного обслуживания.

Моделирование является перспективным методом для прогнозирования работы транспортного объекта и оценки принятых объемно-планировочных решений зданий и сооружений [4–6]. Например, работа [7] направлена на разработку агентной модели движения пассажиров для визуализации функционирования и прогнозирования процесса пересадки между автобусной

остановкой и железнодорожной станцией. По результатам моделирования предложен вариант организации и расположения общественного транспорта с минимальными временными перемещениями. В работе [8] разработана агентная модель движения пассажиров в метрополитене в эксплуатационном режиме и при эвакуации, позволяющая определить «узкие» места, способные снизить уровень безопасного и комфортно-го нахождения пассажиров в метрополитене при эксплуатационном режиме и ухудшить условия эвакуации при возникновении

чрезвычайной ситуации. Таким образом, для оценки функционирования транспортного объекта с точки зрения безопасного и комфортного нахождения пассажиров перспективным является применение агентного моделирования с исходными данными, точно описывающими характер движения пассажиров и учитывающими особенность функционирования метрополитена.

СП 120.13330.2022 «Метрополитены» [9] регламентирует пропускные и провозные способности станций метрополитенов (табл. 1) и допускает для моделирования

Таблица 1

Пропускная способность участков пути метрополитена [9]

Наименование участка пути	Ширина пути, м	Пропускная способность, чел./ч
Горизонтальный путь: одностороннее движение двустороннее движение через дверной проем	1,0	4000
	1,0	3400
	0,8	3200
Контрольный пункт: автоматический на входе автоматический на выходе	0,5–1,0	1200
	0,5–1,0	2500
Эскалатор	1,0	8200
Лестница: одностороннее движение вверх одностороннее движение вниз двустороннее движение вверх и вниз	1,0	3000
	1,0	3500
	1,0	3200

Таблица 2

## Скорости движения людей при различных категориях движения [18]

Категории движения	Скорость свободного движения $V_0$ по видам пути м/мин	
	Горизонтальный участок, лестница вниз	Лестница вверх
Комфортное	< 49,0	< 27,0
Спокойное	49,0–66,0	27,0–38,0
Активное	66,0–90,0	38,0–55,0
Повышенной активности	90,0–120,0	55,0–75,0

движения людей в эксплуатационном режиме использовать Методику № 1140 [10], приводящую математические зависимости движения людей различных групп мобильности при эвакуации. В Методике № 1140 [10] отражена классификация людских потоков: люди без ограничения мобильности (МО) и маломобильные группы населения (МГН).

Теоретическая пропускная способность эскалатора увеличивается с увеличением его ширины и/или с увеличением скорости его движения [11–13]. Однако практическая (эксплуатационная) пропускная способность эскалатора увеличивается до скорости 0,75 м/с, после достижения которой происходит уменьшение пропускной способности эскалатора по причине психологического дискомфорта, с которым пассажиры сталкиваются при входе на эскалатор на более высоких скоростях. В метрополитенах Российской Федерации, как правило, устанавливаются эскалаторы шириной 1 м и со скоростью движения 0,75 м/с [14–16].

В исследовании [17] приведено, что значение пропускной способности эскалатора в метрополитене ниже нормативного значения при эксплуатационном режиме (в часы пиковой загруженности) по причине наличия или отсутствия максимального пассажиропотока (неравномерность входа), неплотного распределения пассажиров на эскалаторе (сохранение социальной дистанции) и наличию спускающихся или поднимающихся по эскалатору пассажиров (при размещении пассажиров в два ряда пропускная способность эскалатора увеличивается). Таким образом, практическое значение пропускной способности эскалатора при эксплуатационном режиме работы метрополитена ниже нормативного значения, приведенного в СП 120.13330.2022 «Метрополитен» [9], что требует проведения дополнительных визуальных наблюдений для определения максимального значения пропускной способности эскалатора.

Скорость движения людского потока зависит от вида пути, плотности их движения, состава группы мобильности и от общего психологического состояния группы. В учебном пособии [18] приведено, что на двигательную активность влияет уровень

эмоционального состояния (табл. 2).

Методика № 1140 [10] приводит зависимости скорости движения людей от плотности потока при эвакуации (относится к типу «повышенная активность»). В свою очередь, движение пассажиров при эксплуатационном режиме работы метрополитена относится к спокойному или активному типу движения (табл. 2). Тем самым, применение Методики № 1140 [10] при моделировании эксплуатационного режима работы метрополитена для анализа принятых ОНР невозможно по причине завышения скоростей движения пассажиров, отсутствия данных по определению количества людей на пассажирских топологиях метрополитена и отсутствия данных по соотношению групп мобильности пассажиров в метрополитене.

Целью работы является получение максимальных пропускных способностей дверей типа «метро», турникетов, эскалаторов и лестничных сходов и получение зависимостей скоростей движения пассажиров от плотности людского потока при эксплуатационном режиме работы метрополитена.

### Визуальные наблюдения на загруженных станциях Петербургского метрополитена

Цель визуальных наблюдений – получение достоверных значений максимальной пропускной способности дверей типа «метро», турникетов, эскалаторов и лестничных сходов и зависимостей скоростей движения пассажиров на различных топологиях от плотности людского потока.

При проведении визуальных наблюдений фиксировались следующие параметры:

- пропускные способности дверей типа «метро», турникетов, эскалаторов и лестничных сходов;
- параметры движения людей различных групп мобильности на отдельных участках в пассажирских зонах.

Основной источник данных для наблюдений за пассажиропотоками – система видеонаблюдения в пассажирской зоне, установленная на станциях Петербургского метрополитена с повышенными значениями пассажиропотока, и переносные видеокамеры на штативе для контрольной съемки пассажирского потока с дополнительных ракурсов для более точного определения состава пассажиропотока и параметров его

движения.

По данным камер видеонаблюдения производился расчет общего количества пассажиров  $N_n$ , находящихся в каждой клетке  $n$  расчетной сетки, и их принадлежности к группам мобильности. Общая плотность каждой клетки  $n$  вычислялась по формуле:

$$D_n^t = \frac{N_n^t}{F_n}, \quad (1)$$

где  $N_n^t$  – количество пассажиров в расчетной клетке, чел.;

$F_n$  – площадь расчетной клетки, м<sup>2</sup>.

Из общего потока пассажиров выбирался человек, за движением которого велось наблюдение. Определялось количество пассажиров  $N_n^{t+\Delta t}$ , в ячейке расчетной сетки, в которой находился наблюдаемый человек в момент времени  $t+\Delta t$ . Значение плотности потока, при которой произошло движение  $i$ -го пассажира внутри расчетной клетки, определялось по формуле:

$$D_i = \frac{N_n^t + N_n^{t+\Delta t}}{2 \times F_n}, \quad (2)$$

Скорость движения  $i$ -го пассажира по траектории его движения на интервале  $(t, t + \Delta t)$  определялась формулой:

$$V_i^{(t, t + \Delta t)} = \frac{\Delta l}{\Delta t}, \quad (3)$$

где  $\Delta t$  – интервал времени, за который пассажир преодолевает расстояние  $\Delta l$ , с.

Пропускная способность  $i$ -го элемента пути движения пассажиров определялась по формуле:

$$Q_i = \frac{N_i}{\Delta t}, \quad (4)$$

где  $N_i$  – количество пассажиров, проходящих через рассматриваемый элемент пути за интервал времени  $\Delta t$ , чел.

Для проведения наблюдений в часы пиковой загруженности выбраны станции Петербургского метрополитена с повышенными значениями пассажиропотока: «Площадь Восстания», «Проспект Ветеранов», «Московская», «Сенная площадь», «Проспект Просвещения», «Садовая», «Спасская», «Проспект Большевиков» и «Улица Дыбенко» (рис. 1–3).

### Результаты визуальных наблюдений пропускных способностей элементов

В качестве примера на рис. 4 и 5 графически представлены результаты наблюдений пропускных способностей турникетов и эскалаторов. При увеличении плотности людского потока происходит монотонное возрастание пропускной способности турникетов и эскалаторов. При плотности, меньшей максимального значения (2,5 чел./м<sup>2</sup>), значение фактической максимальной пропускной способности турникета остается неизменным. Следовательно, для расчета требуемого количества турникетов используется максимальное зафиксированное значение по наблюдениям – 1400 чел./ч. При плотности, меньшей



максимального значения (3,5 чел./м<sup>2</sup>), фактическая максимальная пропускная способность эскалатора (на подъем) остается неизменной. Следовательно, для расчета требуемого количества эскалаторов (на подъем) используется максимальное зафиксированное значение по наблюдениям – 5300 чел./ч.

На рис. 6 представлено сравнение полученных по визуальным наблюдениям максимальных значений пропускных способностей эскалаторов, турникетов, дверей типа «метро» и лестничных сходов с пропускными способностями, приведенными в СП 120.13330.2022 «Метрополитены» [9].

Таким образом, пропускная способность эскалатора, приведенная в СП 120.13330.2022 «Метрополитены» [9], завышена на 2900–4000 чел./ч (в зависимости от направления движения эскалатора) по сравнению с пропускной способностью, полученной по результатам визуального наблюдения за движением людских потоков в утренний и вечерний часы пик (при максимальной плотности потока перед эскалатором). Пропускная способность турникета, приведенная в СП 120.13330.2022 «Метрополитены» [9], занижена на 400 чел./ч по сравнению с пропускной способностью, полученной по результатам визуального наблюдения за движением людских потоков в утренний и вечерний часы пик (при максимальной плотности потока перед турникетом). Нормативные и полученные по визуальным наблюдениям пропускные способности дверей типа «метро» и лестничных сходов коррелируют.

### Результаты визуальных наблюдений скоростей движения пассажиров

В качестве примера приведены результаты наблюдений движения пассажиров группы мобильности М0-3 (рис. 7–9).

По результатам обработки результатов визуальных наблюдений получены зависимости скоростей движения пассажиров группы мобильности М0-3 по горизонтальному участку, по лестнице вниз и по лестнице вверх (формулы (5) – (7) соответственно).

$$v = 150,24 - 141,08D + 45,422D^2, (5)$$

$$v = 75,875 - 40,645D + 12,867D^2, (6)$$

$$v = 70,806 - 57,756D + 25,776D^2, (7)$$

где  $v$  – скорость движения пассажиров М0-3 по горизонтальному участку, лестнице вниз и лестнице вверх соответственно, м/мин;

$D$  – плотность потока на горизонтальном участке, лестничном сходе (спуск), лестничном сходе (подъем) соответственно, чел./м<sup>2</sup>.

По результатам обработки результатов визуальных наблюдений получены зависимости скоростей движения пассажиров группы мобильности М2 по горизонтальному участку, по лестнице вниз и по лестнице вверх (формулы (8) – (10) соответственно).

$$v = 59,273 - 59,842D + 26,909D^2, (8)$$

$$v = 59,255 - 41,295D + 14,838D^2, (9)$$

$$v = 54,062 - 32,332D + 5,266D^2, (10)$$

где  $v$  – скорость движения пассажиров М0-3

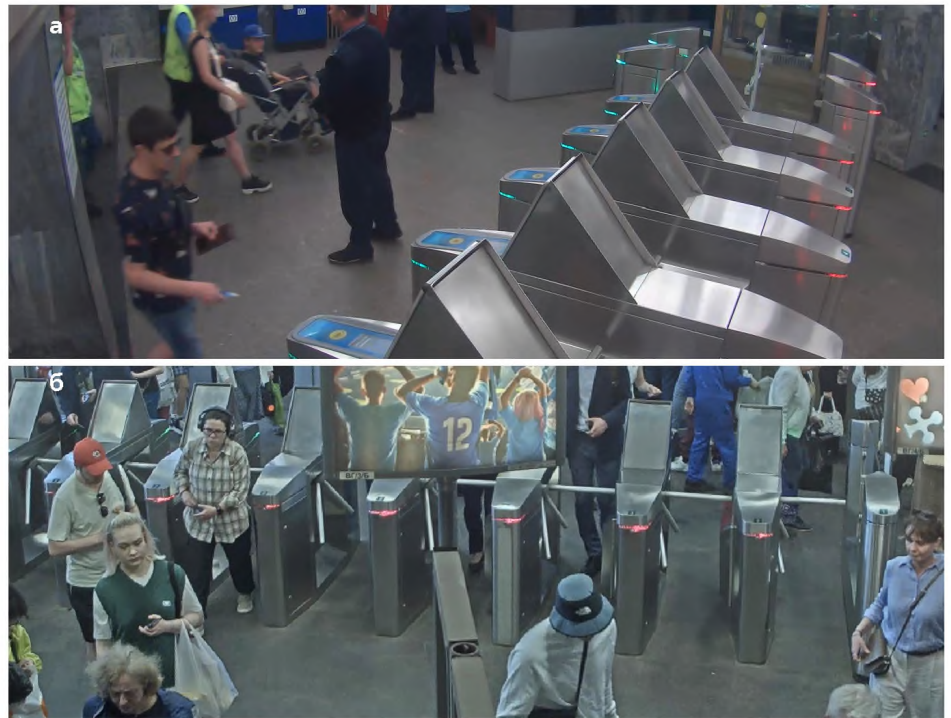


Рис. 1. Расположение турникетов на станциях: а – «Прспект Ветеранов»; б – «Сенная площадь»



Рис. 2. Расположение эскалаторов на станциях: а – «Московская»; б – «Садовая»

по горизонтальному участку, лестнице вниз и лестнице вверх соответственно, м/мин;

$D$  – плотность потока на горизонтальном участке, лестничном сходе (спуск), лестничном сходе (подъем) соответственно, чел./м<sup>2</sup>.

По результатам обработки результатов визуальных наблюдений получены зависимости скоростей движения пассажиров группы мобильности М3 по горизонтальному участку, по лестнице вниз и по лестнице вверх (формулы (11) – (13) соответственно).

$$v = 50,279 - 23,096D + 7,533D^2, (11)$$

$$v = 26,386 - 19,725D + 6,718D^2, (12)$$

$$v = 34,325 - 30,751D + 12,417D^2, (13)$$

где  $v$  – скорость движения пассажиров М0-3 по горизонтальному участку, лестнице вниз и лестнице вверх соответственно, м/мин;

$D$  – плотность потока на горизонтальном участке, лестничном сходе (спуск), лестничном сходе (подъем) соответственно, чел./м<sup>2</sup>.

На рис. 10 приведено сравнение зависимостей скоростей движения пассажиров группы мобильности М0-3, полученных по визуальным наблюдениям, со скоростями движения пассажиров группы мобильности М0-3, приведенными в Методике № 1140 [10].

Значения скоростей, приведенных в Методике № 1140 [10], завышены на 75 % при движении по горизонтальному пути,

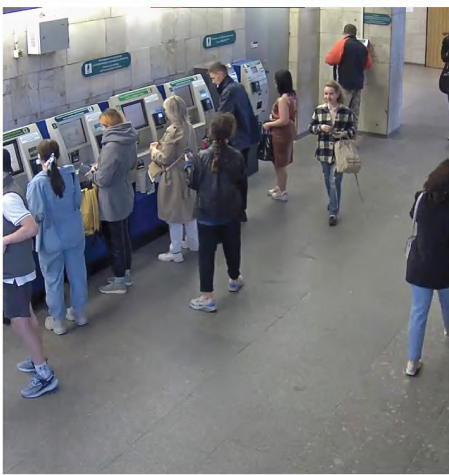


Рис. 3. Внутренний объем вестибюлей на станциях: а – «Московская»; б – «Проспект Просвещения»

на 20 % при движении по лестнице (на спуск), на 40 % при движении по лестнице (на подъем) по сравнению со скоростями, полученными по визуальным наблюдениям (см. рис. 10). Данное расхождение связано с тем, что Методика № 1140 [10] учитывает тип движения при эвакуации (категория «повышенная активность»), в то время как движение пассажиров при эксплуатационном режиме работы метрополитена относится к спокойному или активному типу движения.

### Заключение

Агентное моделирование движения пассажиров является перспективным методом для анализа и оценки функционирования и эксплуатации транспортных объектов с точки зрения безопасного и комфортного передвижения пассажиров.

Полученные максимальные значения пропускных способностей участков пути метрополитена и зависимости скоростей движения пассажиров различных групп мобильности от плотности людского потока могут являться исходными данными при реализации агентного моделирования движения пассажиров для решения следующих практических задач:

- определение достаточности и оптимальности принятых ОПР метрополитена с точки зрения комфортного и безопасного передвижения пассажиров;
- определение количества людей, находящихся на пассажирских топологиях в момент начала эвакуации.

### Ключевые слова

Метрополитен, агентное моделирование, пассажиропоток, пропускная способность, скорости движения, объемно-планировочные решения.

Subway, agent-based simulation, passenger flow, traffic capacity, traffic speeds, space-planning solutions.

### Список литературы

1. Leng B., Zeng J., Xiong Z., Lv W., Wan Y. Probability tree based passenger flow prediction and its application to the Beijing subway system // *Frontiers of Computer Science*. 2013. №7(2). DOI:10.1007/s11704-013-2057-y.
2. Liang X., Qin H., Xie M. Simulation Study of Passenger Flow Characteristics in Subway Passage // *DEStech Transactions on Computer Science and Engineering*. 2016. DOI:10.12783/dtscse/cmsam2016/3565.
3. Статистика. Пассажиропоток в метро за 2019 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metro-msk.ru/stat/2019/> (дата обращения: 23.11.2022).
4. Kuznetsov A. V., Shishkina E. L., Rataj M. Comparison of simulation and analytical models for the distribution of a group of agents moving in random directions // *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. 2022. №46(8). С. 8560–8572. DOI:10.1002/mma.9000.
5. Sakai T., Romano Alho A., Bhavathrathan B. K., Chiara G.D., Gopalakrishnan R., Jing P., Hyodo T., Cheah L., Ben-Akiva M. SimMobility Freight: An agent-based urban freight simulator for evaluating logistics solutions // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2020. № 141. С. 1–36. DOI:10.1016/j.tre.2020.102017.
6. Fernandes J.V., Henriques E., Silva A., Pimentel C. Modelling the dynamics of complex early design processes: An agent-based approach // *Design Science*. 2017. №3. С. 1–34. DOI:10.1017/dsj.2017.17.
7. Dashamirov F., Javadli U. Development of a Methodology for Creating an Agent Based Model of Transport Hubs in Suburban Area // *Problems of Logistics, Management and Operation*. 2021. С. 153–156.
8. Zou Q., Fernandes D.S., Chen S. Agent-based evacuation simulation from subway train and platform // *Journal of Transportation Safety and Security*. 2021. №13(3). С. 1–22. DOI:10.1080/19439962.2019.1634661.
9. СП 120.13330.2022 «СНиП 32-02-2003 Метрополитены». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/306920/> (дата обращения: 3.03.2023).
10. Приказ МЧС России от 14 ноября 2022 г. № 1140 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности» [Электронный ресурс]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_442656/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_442656/) (дата обращения: 4.09.2023).
11. Kahali D., Rastogi R. Comparative analysis of escalator capacity at metro stations: theory versus practice // *Transportation*. 2021. №48(6). DOI:10.1007/s11116-020-10160-6.
12. Wang Z., Pang Y., Gan M., Skitmore M., Li F. Escalator accident mechanism analysis and injury

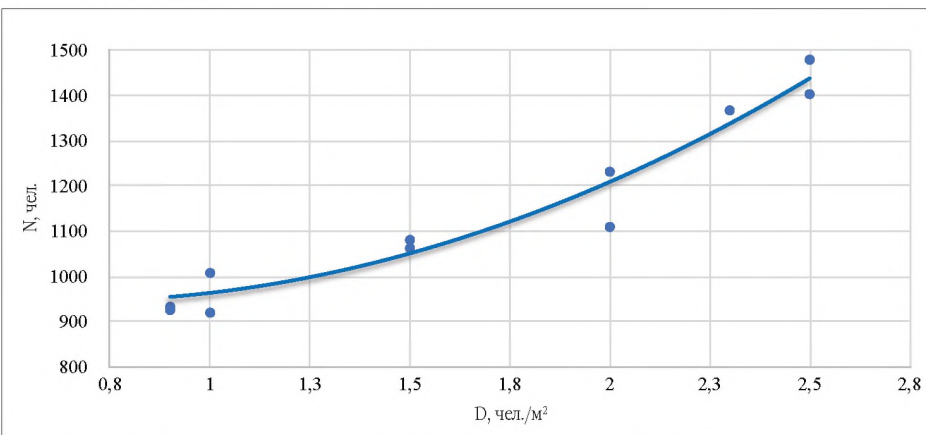


Рис. 4. Зависимость количества людей, проходящих через турникет, от плотности потока перед турникетами

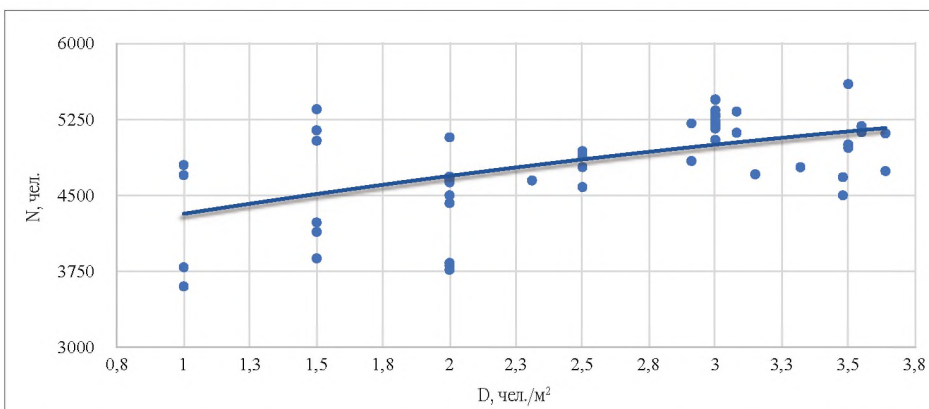


Рис. 5. Зависимость количества людей, перевозимых эскалатором (на подъем), от плотности потока перед эскалатором

prediction approaches in heavy capacity metro rail transit stations // Safety Science. 2022. №154. DOI:10.1016/j.ssci.2022.105850.

13. Gwendiger C., Chraïbi M., Tordeux A. Come together: A unified description of the escalator capacity // PLoS ONE. 2023. №18(3 March). DOI:10.1371/journal.pone.0282599.

14. Bardyshev O., Popov V., Filin A. On the safety of escalators in subways // Bulletin IAELS. 2018. №3(23). С. 10–14.

15. Lee J.M. Urban design in underground public spaces: lessons from Moscow Metro // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. 2022. №21(4). DOI:10.1080/13467581.2021.1941978.

16. Osipov V., Zhukova N., Subbotin A., Glebovskiy P., Evnevich E. Intelligent escalator passenger safety management // Scientific Reports. 2022. №12(1). DOI:10.1038/s41598-022-09498-x.

17. Lu Y. Research on the capacity of the escalator

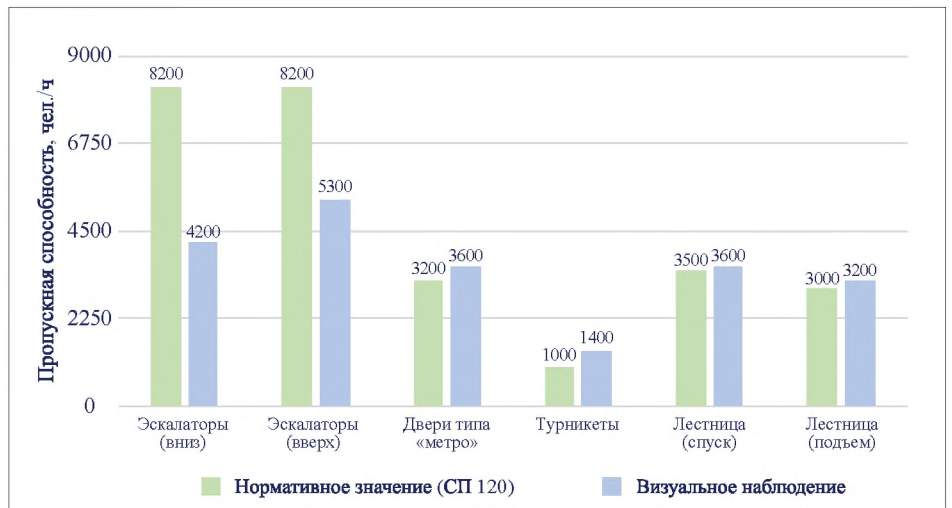


Рис. 6. Сравнение полученных по визуальным наблюдениям и нормативных пропускных способностей элементов

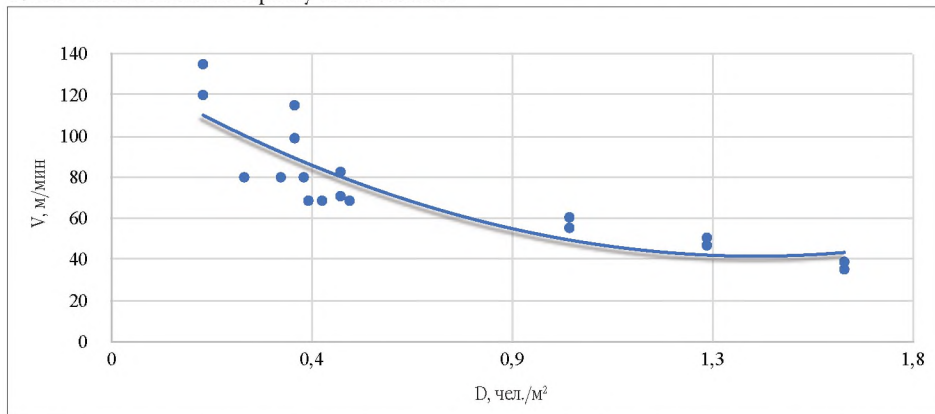


Рис. 7. Движение пассажиров группы мобильности М0-3 по горизонтальному участку

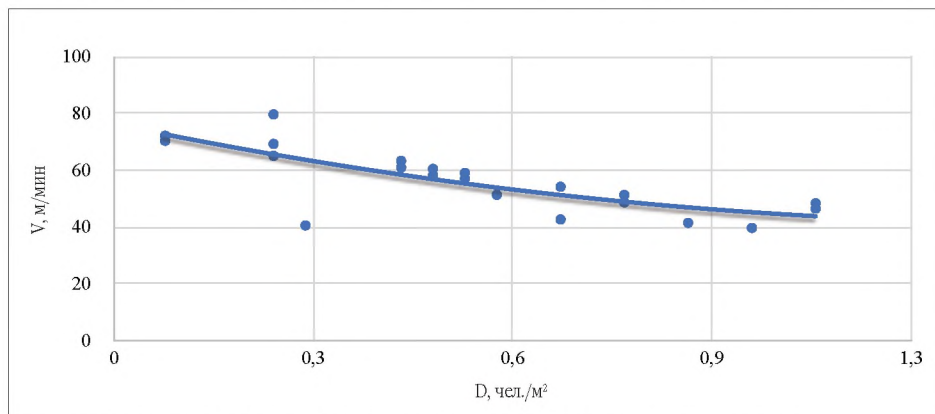


Рис. 8. Движение пассажиров группы мобильности М0-3 по лестнице вниз

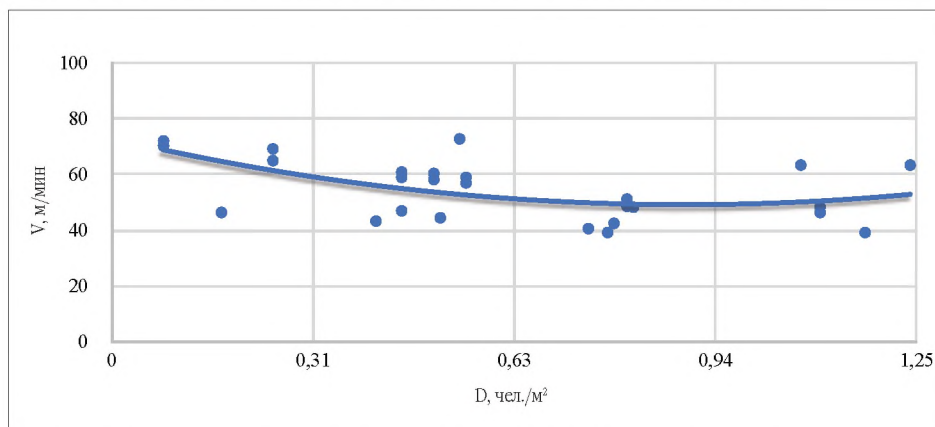


Рис. 9. Движение пассажиров группы мобильности М0-3 по лестнице вверх

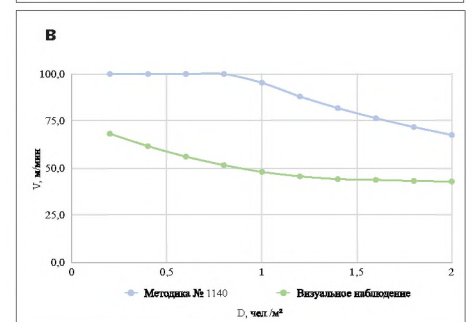
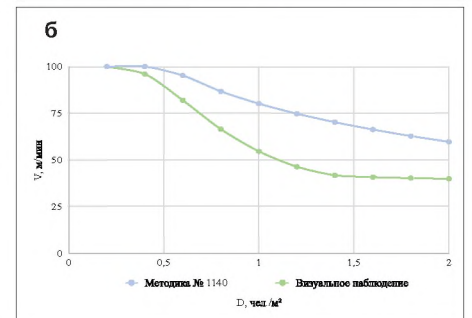
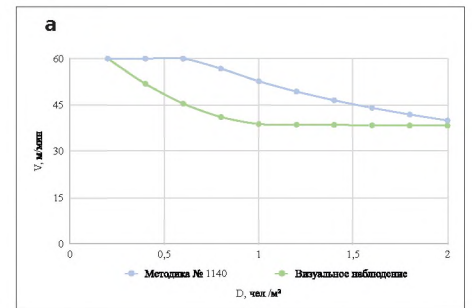


Рис. 10. Сравнение скоростей движения пассажиров группы мобильности М0-3 со скоростями, приведенными в Методике № 1140 при движении: а – по горизонтальному участку; б – по лестнице вниз; в – по лестнице вверх

in subway station // Advances in Transportation and Logistics. 2022. №1(5). С. 1–4.

18. Натурные наблюдения людских потоков: учеб. пособие / Холщевников В. В., Самошин Д. А., Исаевич И.И. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 191 с.

Для связи с автором

Шабунина Дарья Евгеньевна  
shabunina@ciofpr.ru



# ОЦЕНКА РИСКА И ПРЕВЕНТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ

## RISK ASSESSMENT AND PREVENTIVE MEASURES FOR UNDERGROUND WORKS IN DENSE BUILT-UP AREAS

**В. В. Космин**, академик РАТ, Москва

**V. V. Kosmin**, member of the Russian Academy of Transport, Moscow

**Описываются выполненные испанскими и английскими специалистами исследования стандартной по сложности ситуации подземного строительства в условиях плотной городской застройки. На представительном примере рассмотрена соответствующая конструктивно-технологическая проблема, показаны возникающие опасности, оценены риски и даны рекомендации по их преодолению.**

*The paper describes the research carried out by Spanish and English specialists on a standardised underground construction situation in a dense urban environment. On a representative example the corresponding structural-technological problem is considered, the arising dangers are shown, their risks are estimated and recommendations on their overcoming are given.*

Освоение подземного пространства в условиях плотной городской застройки сопряжено с повышенными сложностями в связи с наличием в непосредственной близости от проектируемых сооружений существующих подземных объектов, а также оснований и фундаментов расположенных на поверхности зданий и т. п. При этом вновь создаваемые подземные объекты находятся в зависимости как от естественных факторов (рельеф, геология, гидрология), так и от уже существующих сооружений, их частей и т. п. Появление нового подземного объекта способно изменить общую геотехническую ситуацию, может повлиять на работу, устойчивость, работоспособность существующих объектов и их частей. Естественно, рассмотрению подлежат общая ситуация, комплексная картина, складывающаяся в связи с появлением нового подземного объекта. Вместе с естественными проблемами инженерно-геологического (геотехнического) характера это формирует многообразную и сложную ситуацию неопределенности, чреватую рисками, накладывает серьезные и труднопреодолимые ограничения на проектирование, которые, к тому же, изменяются в широких пределах в зависимости от уровня неопределенности. Проблема в целом привлекает внимание как исследователей, так и непосредственно причастных к ней заказчиков, подрядчиков, эксплуатационников и др. [1, 2].

Проектирование подземных работ в непосредственной близости от глубоких фундаментов предопределяет рассмотрение технологии строительства как ключевой фактор для оценки и определения оптимального метода строительства.

В связи со сложностью, универсальностью и актуальностью указанной проблемы представляет интерес исследование, опубликованное в материалах Тоннельного конгресса

Всемирной тоннельной ассоциации (ITA-ATTES World Tunnel Congress) [3].

Ввиду многообразия ситуаций, связанных с подземными работами в условиях плотной застройки, в исследовательских целях рассмотрен конкретный теоретический случай, который, однако, достаточно часто встречается в современных транспортных тоннелях (железнодорожных или автодорожных). Речь идет о взаимодействии между вертикальным вентиляционным стволом и близлежащими сваями, являющимися частью одной подземной инфраструктуры. Этот случай характерен высокими эффектами взаимодействия, обусловленными близостью различных элементов, таких как сам ствол, вентиляционные тоннели (штольни), линейные тоннели и глубокий фундамент здания. Вентиляционная шахта является одним из распространенных элементов инфраструктуры подземных железнодорожных систем в условиях плотной городской застройки, и сложность ее строительства обусловлена числом и характером элементов, которые должны быть построены в непосредственной близости друг от друга. Такая ситуация достаточно широко распространена. В последнее время все чаще практикуется строительство сложных объектов инфраструктуры с большим числом элементов в условиях ограниченного пространства в плотной городской застройке, где, как правило, свободное пространство ограничено. Это напрямую влияет на увеличение эффектов взаимодействия между различными возводимыми элементами и близлежащими существующими конструкциями. Устранение этих сложностей является общей проблемой для многих проектов подземной инфраструктуры, которые становятся всё более частыми из-за ограниченности городского пространства.

Для указанного примера созданы специальные модели взаимодействия «грунт –

конструкция» с применением программного обеспечения для конечноэлементного анализа PLAXIS 2D и 3D (рис.).

В принятой в качестве примера для исследования сложной инфраструктуре возможно множество различных вариантов последовательности строительства, которые в основном зависят от числа этапов строительства (т. е. от числа возводимых элементов). В данном случае рассматриваются пять основных этапов строительства: строительство вертикального ствола, строительство вентиляционных тоннелей, строительство тоннелей тоннелепроходческим механизированным комплексом, устройство свайного основания и возведение здания на поверхности земли (т. е. нагружение свайной плиты).

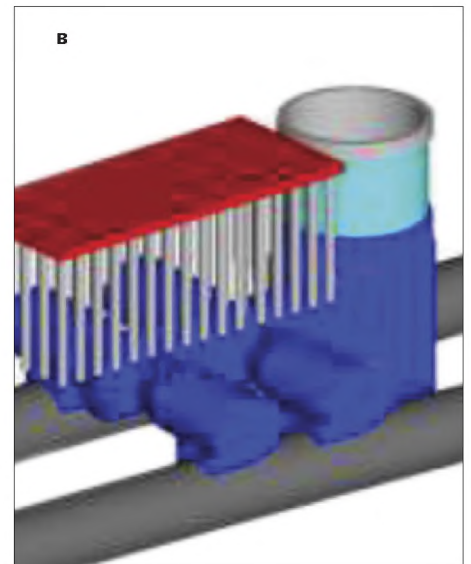
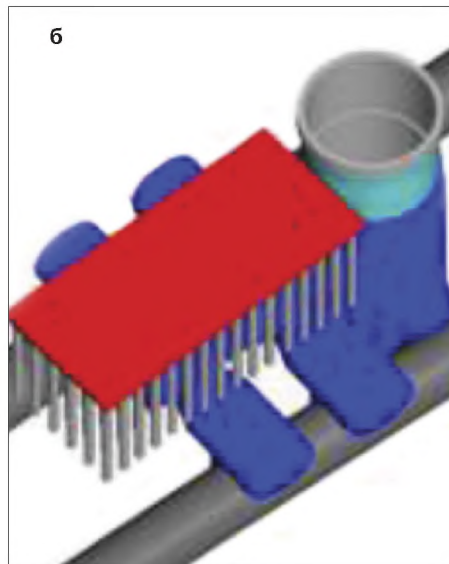
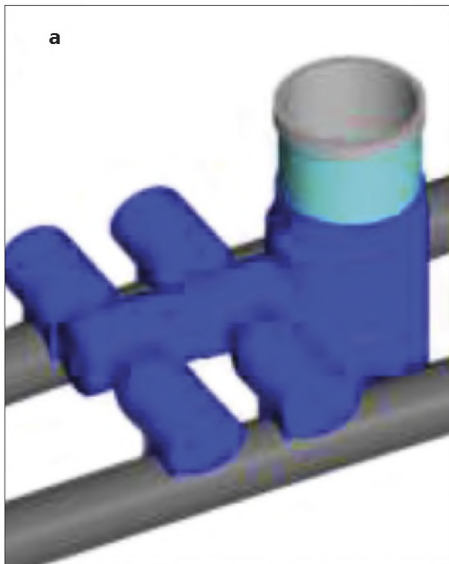
Различный порядок следования этих этапов строительства может привести к возникновению множества эффектов взаимодействия различной природы. Для целей описываемого исследования рассматривались три варианта технологической последовательности указанного комплекса:

I – ствол → вентиляционные тоннели → тоннели, пройденные тоннелепроходческим комплексом → погружение свай → нагружение свай;

II – погружение свай → ствол → вентиляционные тоннели → тоннели, пройденные тоннелепроходческим комплексом → нагружение свай;

III – погружение свай → нагружение свай → ствол → вентиляционные тоннели → тоннели, пройденные тоннелепроходческим комплексом.

Исследование указанных трех вариантов в отношении возникающих усилий, нагрузок и опасностей дало следующие результаты. Возможные риски для упомянутого примера, их последствия, оценка уровней риска и ре-



Геометрия модели взаимодействия грунта и сооружения в 3D PLAXIS:  
а – без свайного основания; б и в – то же со свайным основанием

комендуемые упреждающие мероприятия следующие.

- В связи с передачей сжимающих нагрузок от свай на обделку тоннеля вследствие короткого расстояния между подошвой свай и сводом тоннеля возможны чрезмерные нагрузки на тоннель, приводящие к разрушению его обделки (вероятность, воздействие и риск при этом высокие). Во избежание этого рекомендуется максимально увеличить расстояние по вертикали между подошвой свай и обделкой тоннеля, оценить конструктивные силы и деформации, вызванные сваями, на обделке тоннеля и учесть их при его проектировании; определить наиболее подходящий диаметр свай в увязке с их числом и с учетом распределения нагрузки; обеспечить максимальный контроль во время строительства для предупреждения нерасчетного удлинения свай.
- Ввиду возможности передачи боковых нагрузок от свай на обделку шахты вследствие малого расстояния между сваями и вертикальной шахтой не исключены (со средним уровнем вероятности, при высоких воздействиях и риске) чрезмерные изгибающие моменты вертикального ствола, приводящие к чрезмерной овализации и потенциальным разрушениям обделки. Для исключения этого целесообразно максимально увеличить расстояния по горизонтали между сваями и периметром вертикального ствола до пяти диаметров свай (если это возможно); перед началом бокового нагружения убедиться, что обделка завершена по всему контуру (кольцо замкнуто); в процессе строительства вести мониторинг степени овализации и смещений вертикального ствола.
- Вследствие проходки тоннеля под сваями или устройства вертикального ствола поблизости возможно со средним уровнем вероятности, воздействий и риска возникновение отрицательного трения по боковой поверхности свай, снижающее несущую способность свай, вызывающее чрезмерную их осадку или разрушение фундамента. Для ис-

- ключения всего этого следует изменить последовательность строительных работ: разработка грунтов должна опережать погружение свай (если это возможно); максимально увеличить вертикальное расстояние между подошвой свай и обделкой тоннеля или горизонтальное расстояние между сваями и внешним контуром вертикального ствола; удлинить сваи, не проецируемые на обделку; принять для свай, расположенных в верхней части тоннеля, меньшую расчетную несущую способность, и перераспределить нагрузку на близлежащие сваи; отсрочить соединение свай с плитой ростверка: «плавающие» сваи будут оседать вместе с окружающим грунтом, и в результате уменьшится отрицательное трение по боковой поверхности свай.
- Ввиду возможной потери несущей способности свайного основания из-за проходки тоннеля вплотную под подошвой свай, сопровождающегося чрезмерной их осадкой или разрушением (уровни вероятности, воздействий и риска средние) рекомендуется предположить, что полная несущая способность свай зависит от силы трения без учета сопротивления в ее основании, и применить цементацию грунта под подошвой свай, создавая благоприятные условия для работы свайного основания без нарушения грунта.
  - Возможные смещения грунта, вызванные подземными выработками, вызывают дополнительные усилия в конструкциях (со средним уровнем вероятности и риска и с низким уровнем воздействий), требуют изменения последовательности ведения строительных работ (опережающая разработка грунта по отношению к погружению свай) и оценки усилий в конструкциях в котловане для их последующего учета при проектировании фундамента.
  - В результате проведения подземных выработок под фундаментом возможно его оседание, что приводит к характеризуемым низкими уровнями вероятности, воздействия и риска чрезмерным неравномерным осадкам, образованию трещин или к нарушению

расчетного предельного состояния работоспособности. Для борьбы с этими явлениями рекомендуется уточнить последовательность строительных работ с целью приступить к возведению здания после завершения земляных работ, а также повысить жесткость и конструктивную несущую способность свайного основания для восприятия больших конструктивных усилий с минимизацией деформаций конструкции.

Приведенные оценки и рекомендации носят достаточно универсальный характер и могут оказаться полезными для проектировщиков подземных объектов в условиях плотной городской застройки, приобретающих всё большую актуальность.

#### Ключевые слова

Геотехнические риски, конструктивные решения, плотная городская застройка, подземное строительство, технологические решения.

Dense urban development, geotechnical risks, structural solutions, technological solutions, underground construction.

#### Список литературы

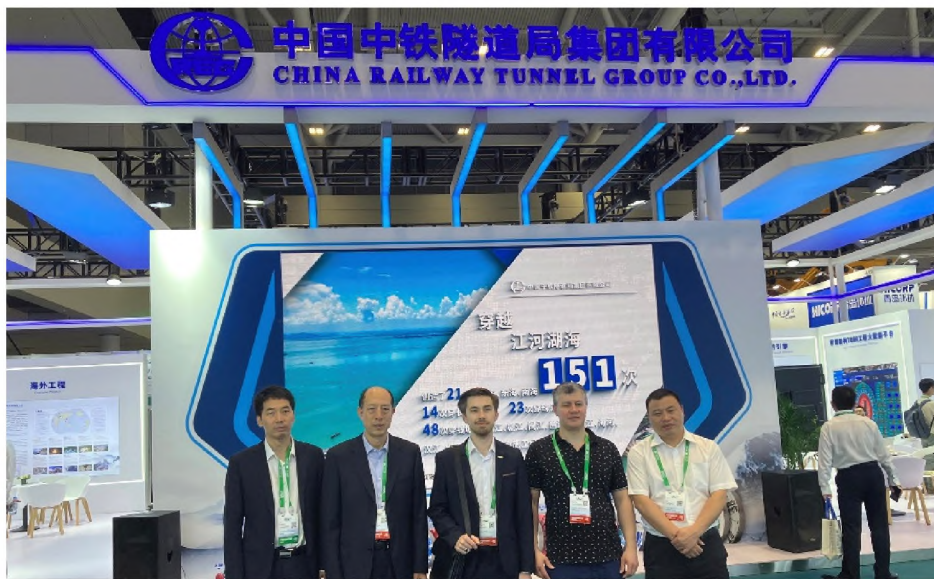
1. Справочно-методическое пособие по оценке и учету рисков при освоении подземного пространства в городе Москве. – Москва – Вологда: Инфра-Инженерия, 2021.
2. Меркин В. Е. Риски нештатных ситуаций в метроостроении и способы их преодоления (Московский опыт) // Сборник статей под ред. М. О. Лебедева. Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения. – М.: Перо, 2021. – С. 195–203.
3. Cruanyes Gavila J. V., Becerril Mucoz M., Ramnrez Rodriguez P., Ingram P. Interaction between underground works and deep foundations: A risk assessment approach // Expanding Underground. Knowledge and Passion to Make a Positive Impact on the World – Anagnostou, Benardos & Marinos (Eds). Pp. 528–536. DOI: 10.1201/9781003348030-64.

# МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТОННЕЛЬНЫЙ КОНГРЕСС WTC 2024

С 19 по 24 апреля 2024 г. в городе Шэньчжень, Китай, прошел Международный тоннельный конгресс WTC 2024, а также мероприятия, посвященные празднованию 50-летнего юбилея Международной тоннельной ассоциации (ITA-AITES). В этих знаковых для сферы подземного строительства событиях приняла участие российская делегация, членами которой стали представители Тоннельной ассоциации России.



Официальный логотип Международного тоннельного конгресса.  
Официальный сайт WTC2024 – <https://wtc2024.cn/index.html>



Представители TAP, Китайской ассоциации подземного строительства и китайской строительной компании CRTG Co, LTD на выставке в рамках WTC 2024 (архив TAP)



Представители российской делегации и руководители компании CRCC с президентом ИТА – Арнольдом Диксом на выставке в рамках WTC 2024 (архив TAP)

С 19 по 24 апреля 2024 г. в городе Шэньчжень, Китай, прошел юбилейный Международный тоннельный конгресс WTC 2024.

Международный тоннельный конгресс является главным ежегодным мероприятием Международной тоннельной ассоциации (ITA-AITES) и считается самой посещаемой конференцией по тематике подземного строительства во всем мире.

В этом году конгресс состоялся под общей темой «Развивающийся подземный мир», поскольку всестороннее понимание, переосмысление и изменение формы подземных пространств стало еще более важным в трансформации городов будущего, где наземное пространство приобретает все большую ценность. Для достижения последнего требуется целостный подход не только с точки зрения пространственной организации или преодоления инженерных трудностей, но также в отношении разработки политики, правил и учета социальных факторов.

Этот конгресс также был посвящен последним тенденциям устойчивого развития в тоннельном и подземном строительстве. В целях содействия развитию отрасли и прогрессу общества, основными векторами развития стали энергосберегающие, экологически чистые, зеленые, низкоуглеродные, интеллектуальные и безопасные решения в подземном строительстве.

Именно поэтому основной целью конгресса стало создание площадки для демонстрации новых материалов, технологий и оборудования, которые будут способствовать дальнейшему повышению эффективности тоннелей и подземных работ, развитию отрасли и общества в целом.

В этом году конгресс собрал более 2700 участников, включая экспертов, ученых и представителей промышленности из 65 стран и регионов мира. Это мероприятие является крупнейшим в своем роде – в нем приняли участие 193 всемирно известные компании, непосредственно связанные со сферой подземного строительства. Кроме того, на конгрессе было представлено 195 докладов по 15 темам.

Технические секции конгресса включали в себя следующие темы: обычное тоннелирование, механизированное тоннелирование, погруженные тоннели, шахты, механические и электрические установки, информационное моделирование, эксплуатация и обслуживание, планирование, безопасность эксплуатации подземных сооружений, изучение геологических и геотехнических

условий, контроль грунтовых вод, контрольно-измерительные приборы и мониторинг, охрана труда и техника безопасности.

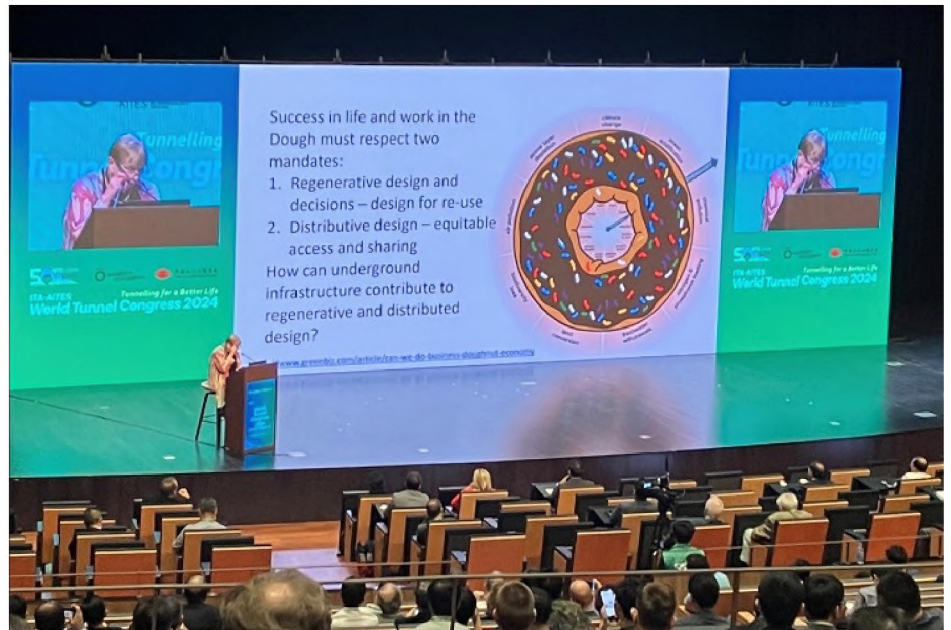
В этом году в Международном тоннельном конгрессе WTC 2024 приняла участие российская делегация, включающая в себя порядка 60 представителей и руководителей ключевых строительных и проектных организаций, ведущих образовательных учреждений, научных центров и крупнейших поставщиков оборудования в сфере подземного строительства. Членами российской делегации стали представители исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России, включая руководителя исполнительной дирекции ТАР Александра Борисовича Лебедева.

Международный тоннельный конгресс начался с торжественной церемонии открытия, на которой выступили высокопоставленные лица, в том числе Ни Хонг – министр жилищного строительства и городского развития Китая, Михаил Млынар – помощник Генерального секретаря Организации Объединенных Наций, Юи Цзюнь – председатель Китайского общества гражданского строительства и председатель организационного комитета WTC 2024, Цинь Вэйчжун – мэр г. Шэньчжэнь, Чэнь Юнь – председатель China Railway Group Limited, а также Арнольд Эдвард Дикс – президент Международной тоннельной ассоциации ИТА.

Выставочная площадка, организованная в рамках Международного тоннельного конгресса, заняла более 20 тыс. м<sup>2</sup>. На ней были представлены лидеры отрасли – крупнейшие всемирно известные компании. Значительную часть выставочной зоны заняли развивающиеся китайские компании.

На протяжении следующих трех дней были представлены технические доклады по различным направлениям. В рамках Международного тоннельного конгресса у всех докладчиков также была возможность представить свой доклад в стендовом формате. Именно такой формат презентации своих материалов был выбран представителями Российской Федерации. Участники делегации представили пять докладов на следующие темы:

- Многосторонние государственные структуры и управление городским подземным пространством;
- Сотрудничество в развитии Московского метрополитена: анализ совместных строительных работ, выполненных китайской и российской сторонами;
- Научно-исследовательское сопровождение строительства Большой кольцевой линии на примере пересечения линии с существующими объектами Московского метрополитена;
- Инновационная система гидроизоляции для неглубоких подземных сооружений;
- Концептуальная основа для создания интегрированной системы планирования стратегии внедрения технологий подземного городского строительства.



Презентация технических докладов на WTC 2024 (архив ТАР)



Встреча ТАР с Китайской ассоциацией подземного строительства (архив ТАР)



Встреча ТАР с Китайской ассоциацией подземного строительства (архив ТАР)



Посещение коллекторного тоннеля (архив ТАР)



Посещение коллекторного тоннеля (архив ТАР)

В рамках WTC 2024 Тоннельная ассоциация России провела встречу с Китайской ассоциацией подземного строительства. На встрече обе стороны пришли к полному взаимопониманию и обозначили необходимость в более глубоком сотрудничестве для обмена опытом в сфере подземного строительства. Стороны обсудили планы на дальнейшее развитие текущих отношений и запланировали ряд совместных мероприятий, ближайшим из которых станет Международный научный симпозиум молодых ученых и инженеров в области подземного строительства, проведение которого ожидается в сентябре 2024 г. в Китае.

В дни проведения конгресса были организованы технические туры на самые масштабные и знаковые объекты города Шэньчжэнь. Всего в рамках WTC 2024 было представлено восемь объектов для посещения:

- тоннель Шэньчжэнь-Чжуншань;
- тоннель железной дороги в устье Жемчужной реки Шэньчжэнь-Цзянмэнь;
- проект интегрированного транспортного узла в Шэньчжэне, Хуанмугань;
- проект тоннеля междугородней железной дороги Гуанчжоу-Дунгуань-Шэньчжэнь;
- интегрированный транспортный узел Шэньчжэнь-Цяньхай;
- магистральная дорога T2 в Гонконге и тоннель Ча Кво Линг;
- завод Herrenknecht Tunneling Machinery Co. в Гуанчжоу;
- тоннельный музей Китая.

Российская делегация посетила два ключевых объекта в рамках технических туров, одним из которых стал коллекторный тоннель в новом районе в восточной части г. Шэньчжэнь, сооружаемый 16-м подразделением одной из крупнейших китайских компаний CRCC.

Данный коллекторный тоннель имеет диаметр чуть более 8 м и сооружается при помощи тоннелепроходческого механизированного комплекса китайского производства. После окончания проходки тоннеля, по всей его протяженной части с определенным шагом сооружаются подпорные колонны, затем возводится перекрытие и дополнительная разделяющая перегородка в верхней части тоннеля. Благодаря этому разделению тоннеля на три части, китайские коллеги размещают в одном подземном объекте магистраль для отвода канализационных стоков (наибольшая нижняя часть тоннеля), кабельные магистрали электроснабжения (верхняя левая часть) и кабельные магистрали скоростного интернета (верхняя правая часть).

В рамках визита представители принимающей стороны также провели экскурсию по строительной площадке и рассказали о принципах работы и построения основных производственных цепочек на данном объекте, ознакомили всех желающих с системой безопасности на строительной площадке и в сооружаемом тоннеле.

Представители российской стороны

отметили высокий уровень организации и совмещения работ при сооружении тоннеля, а также высокие темпы проходки этого объекта.

Вторым объектом для посещения российской делегацией в рамках WTC 2024 стал тоннель железной дороги в устье Жемчужной реки Шэньчжэнь-Цзянмэнь.

Железнодорожный тоннель Шэньчжэнь-Цзянмэнь в устье Жемчужной реки протяженностью 13,69 км расположен между Гуанчжоу и Дунгуанем. Этот объект является ключевым проектом всей линии железной дороги Шэньчжэнь-Цзянмэнь, а соотношение мостов и тоннелей составляет 98 %.

Особенностью проекта стали весьма сложные условия строительства:

- прокладка тоннелей при помощи ТПМК на большие расстояния;
- большая глубина расположения объекта;
- высокое давление воды;
- сложные геологические условия;
- опасные условия строительной среды.

Поскольку самая глубокая часть тоннеля находится на глубине 115 м под водой, а максимальное давление воды достигает 1,06 МПа, это самый глубокий подводный тоннель в мире.

Из-за строительства тоннелей в смешанном обводненном грунте, специалисты были вынуждены предъявить высокие требования к технологии проходки тоннелей при помощи ТПМК.

Внедрение процесса сборки полностью готовых конструкций значительно снизило риск нарушения контроля безопасности персонала, ускорило сроки строительства, обеспечило высокую экологическую составляющую строительства и значительно повысило уровень внутренней конструкции тоннеля.

В заключительный день WTC 2024 были проведены заседания всех рабочих групп Международной тоннельной ассоциации.

Профессор Николай Геннадьевич Бобылев выступил на одной из них как руководитель рабочей группы номер 15 (Подземное пространство и окружающая среда). Н. Г. Бобылев был избран руководителем этой рабочей группы в прошлом 2023 г. и стал первым россиянином, занявшим пост руководителя группы или комитета в ассоциации.

Рабочая группа номер 15 (Подземное пространство и окружающая среда) координирует подготовку тематических отчетов в области воздействия подземных объектов на окружающую среду, экологического менеджмента в тоннелестроении, углеродного следа, экологического планирования развития городской подземной инфраструктуры.

В своем выступлении профессор Н. Г. Бобылев отметил значимость повестки устойчивого развития для строительной отрасли, и подчеркнул, что особое внимание необходимо уделять комплексному планированию подземной инфраструктуры, в том числе с использованием инструментов стратегического государственного планирования, мастер планирования городских территорий, экологического планирования с учетом сервисов экосистем и геосистем.





Посещение туннеля российской делегацией (архив ТАР)



Президент Международной тоннельной ассоциации Арнольд Дикс (в центре), справа от него – руководитель исполнительной дирекции ТАР А. Б. Лебедьков и научный сотрудник С. В. Мазеин; слева – генеральный директор НИЦ ТА В. Е. Русанов и член молодежной группы Международной тоннельной ассоциации от РФ А. Р. Попонин (архив ТАР)



Посещение туннеля российской делегацией (архив ТАР)



Торжественное вручение подарка для ИТА (архив ТАР)



Заседание Молодежной группы Международной тоннельной ассоциации (архив ТАР)

В заседании рабочей группы молодежного комитета Международной тоннельной ассоциации принял участие представитель Российской Федерации Артём Романович Попонин.

Помимо всего прочего также была проведена Генеральная Ассамблея Международной тоннельной ассоциации, в которой в очном формате принял участие представитель ТАР от Российской Федерации Михаил Юрьевич Беленький, заместитель генерального директора по маркетингу и внешнеэкономической деятельности АО «Мосметрострой». В рамках Генеральной Ассамблеи был утвержден план работы Международной тоннельной ассоциации на 2025 г., были заслушаны отчеты от председателей всех рабочих групп, о процессе подготовки предстоящих Международных тоннельных конгрессов доложились принимающие стороны.

Представитель РФ на Генеральной Ассамблее Международной тоннельной ассоциации Михаил Юрьевич Беленький в торжественной обстановке поздравил с 50-летним юбилеем ИТА и вручил памятный подарок в честь юбилея Международной тоннельной ассоциации.

Представители Международной тоннельной ассоциации высоко оценили внимание Тоннельной ассоциации России и Российской Федерации в целом к этой знаменательной дате и передали подарок в музей ИТА.

Завершением Международного тоннельного конгресса WTC 2024 стал торжественный гала ужин. В торжественной и праздничной обстановке объединились представители всех стран, которые смогли обсудить друг с другом текущие проблемы и вызовы развития подземного строительства во всем мире.

По завершению торжественного мероприятия все участники обменялись впечатлениями о прошедшем Международном тоннельном конгрессе и продолжили развивать подземное строительство в своих странах, чтобы в грядущем году поделиться своими достижениями на новом Международном тоннельном конгрессе WTC 2025.

*Обзор подготовил А. Р. Попонин (НИТУ МИСИС)*



# ИТОГИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ – 2024»

5–6 июня 2024 г. в Нижнем Новгороде в отеле Marins Park Hotel была проведена научно-техническая конференция «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве – 2024», организованная Тоннельной ассоциацией России (ТАР).



Председатель правления ТАР К. Н. Матвеев вручил свидетельства о членстве в ТАР новым членам Тоннельной ассоциации России

Партнёрами мероприятия выступили ГК «Полипласт», АО «Мосметрострой», ООО «НИИЦ Тоннельной ассоциации», спонсором – ООО «Строительные системы» (Sika), информационными партнёрами – журнал «Метро и тоннели» и транспортная газета «Евразия весты».

Основные цели конференции:

- обмен результатами последних научных исследований в сфере освоения подземного пространства;
- обсуждение проблемных вопросов в области инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации транспортных тоннелей, в том числе глубокого заложения и других подземных сооружений мегаполисов;
- обмен опытом по практическому применению современных строительных технологий и материалов, а также научно-техническому сопровождению подземного строительства.

Мероприятие было призвано объединить специалистов научного и строительного сообщества подземного строительства и стать площадкой для обмена опытом научно-технической и коммерческой информацией.

На конференции приняли участие более 130 специалистов из 67 организаций России и ближнего зарубежья в сфере проектирования и строительства подземных сооружений: архитекторов, проектировщиков, застройщиков, производителей материалов и технологий, подрядных организаций, предста-

вителей органов власти, вузов и научного сообщества, с которыми были заслушаны и обсуждены доклады по следующим темам:

- Применение новейших технологий материалов и конструкций при строительстве подземных сооружений;
- Информационное моделирование процессов проектирования, строительства и эксплуатации новых линий метрополитена;
- Научно-техническое сопровождение проектирования и строительства подземных сооружений;
- Строительство и эксплуатация транспортных тоннелей;
- Безопасность на объектах подземного строительства.

Традиционно с приветственным словом перед участниками конференции выступил председатель правления ТАР Константин Николаевич Матвеев. После приветственной речи он вручил свидетельства о членстве в ТАР новым членам Тоннельной ассоциации России.

Первый день конференции начался с доклада А. Б. Щукиной (ООО «Системные продукты для строительства») «Современные проблемы при ремонте подземных и заглубленных сооружений и пути их решения», в котором было отмечено, что только системный, стратегический подход, основанный на исследованиях по износу и ремонту сооружений во времени, даст возможность получить необходимые решения по обеспечению требуемой их надежности и долго-

вечности.

После выступил А. С. Маренков (ФГУ «ФЦЦ») с докладом «О планах по разработке нормативных документов в области транспортного тоннелестроения». В выступлении была затронута деятельность ФГУ «ФЦЦ», участники конференции были ознакомлены с результатами работы организации за прошлый год, а также обозначены планы на 2024 г., а именно: разработка свода правил «Бетонные и железобетонные конструкции транспортных сооружений тоннелей и метрополитенов. Правила ремонта»; выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по темам: «Разработка методики прогнозирования скорости износа режущего инструмента механизированных щитовых комплексов при сооружении транспортных тоннелей и метрополитенов на основании исследований абразивности грунтов» и «Экспериментальные исследования анкерных химических креплений отечественного производства для применения на объектах транспортного назначения (мосты, автомобильные и железнодорожные туннели и т. п.), в том числе при высоких нагрузках».

Следующий доклад по теме «Оценка взаимного влияния строящихся зданий на поверхности и подземных сооружений» зачитал М. О. Лебедев (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»). Доклад содержал анализ накопленной базы данных мониторинга отделок транспортных тоннелей, постро-



**Д. т. н., профессор В. Е. Меркин**



**Д. т. н., профессор И. Я. Дорман**



**Д. т. н., доцент Д. С. Конохов**

енных с применением различных технологических схем в различных геологических условиях, позволил установить закономерности изменения напряженного состояния вмещающего горного массива и подземных конструкций вследствие влияния техногенных факторов, а также предложение по использованию адаптированного аналитического метода расчета обделок тоннелей.

Доклад В. А. Беляева (ГК «Полипласт») освещал технологии и материалы Группы компаний «Полипласт» для ремонта и строительства тоннельных сооружений в рамках программы «Импортозамещение». В структуру заводов ООО «Полипласт – Юг» входит специализированная лаборатория, оснащенная самым современным оборудованием, обеспечивающим широкий спектр испытаний и исследований, требуемых для выпуска качественных материалов. Производственная линия позволяет реализовать новое направление компании, нацеленное на разработку и внедрение системных продуктов, представленное следующими продуктовыми линейками: решения для ремонта бетонных и железобетонных конструкций; решения для гидроизоляции строительных конструкций; решения для защиты строительных конструкций; решения для инъекционных работ и другие строительные материалы.

Доклад В. А. Черненко (ООО «Эм-Си Баухеми») назывался «Стабилизация грунтового основания методом инъектирования расширяющейся полиуретановой смолой как способ предотвращения сверхнормативной просадки зданий и сооружений в зоне влияния строительства тоннеля метрополитена». Докладчик ознакомил слушателей с технологией усиления грунтов методом инъектирования экспансивного полиуретана.

Следующим выступил В. Е. Русанов (ООО «НИЦ ТА») с докладом «Фибробетоны в тоннелестроении. Состояние вопроса и проблемы внедрения в РФ». Докладчик отметил, что тоннельные обделки, сооружаемые закрытым способом (кругового и сводчатого очертания), преимущественно работают в условиях внецентренного сжатия с преобладанием напряжений сжатия. Для такого напряженного состояния прочностные и деформативные свойства фибробетонов

(ФБ) реализуются наиболее эффективно. Фибробетонные конструкции способны воспринимать нагрузку и сопротивляться деформированию после формирования в них трещин, что исключает хрупкое разрушение. Существующий опыт позволяет сделать вывод: формально нет препятствий к проектированию и производству ФБ конструкций тоннелей и подземных сооружений в РФ.

После участникам был представлен доклад А. Д. Логиновой (ООО «Геоцем») «Сухие смеси для применения в подземном строительстве». Освещены: результат создания противифильтрационной завесы материалом GEOPROTECT при герметизации перемычки, на объекте СУХОЙ ДОК № 1 п. Белокаменка, Мурманская обл.; экранирование и заполнение карстовых пустот материалами GEOSSEM GEOPROTECT и ГАЗОИНЖЕКТ GEO на Трассе М-12 в Нижегородской области; работы по финишному покрытию Промеида г. Светлогорск материалами ГИДРОЦЕМ (ГИДРОШУБА) и другие работы.

Далее с докладом выступили коллеги из ООО «Цементум» (Холсим Рус) С. М. Фоменко и В. А. Смирнова. Их выступление затрагивало тему устройства путевого бетона для объектов метрополитена по системе «масса-пружина». Слушатели узнали

принципы подбора состава путевого бетона для системы «масса-пружина» с высокими требованиями по прочности на растяжение при изгибе. Применение базальтовой фибры на ~1 МПа улучшает прочность на растяжение при изгибе, а также применение мелкого щебня.

Следом за ними слово взял И. Ю. Кочетков (ООО «Строительные системы» (Sika)). Его доклад «Решения для тоннелей и заглубленных сооружений» содержал информацию о подавлении активных водопритоков методом инъектирования, о создании противифильтрационных завес, ремонте деформационных швов и холодных швов бетонирования, об инъекционном ремонте бетона заглубленных сооружений, бутовой (кирпичной) и чугунной обделок, укрепление грунтов, восстановлении защитного слоя бетона заглубленных сооружений методом торкретирования, возведении обделки: набрызг-бетон, гидроизоляционных мембранах при строительстве подземных сооружений и контрольном нагнетании тампонажным цементом на контакте грунт-бетон, заполнении пустот, укреплении грунтов, стабилизации инъекционным цементом.

«Трубы повторного применения ГОСТ 55934-2013» – так назывался доклад



**А. Б. Шукина, ООО «Системные продукты для строительства»**



**А. С. Маренков, ФАУ «ФСЦ»**



**М. О. Лебедев, ОАО «НИПИИ «Ленметро-гипротранс»**



**В. А. Беляев, ГК «Полипласт»**



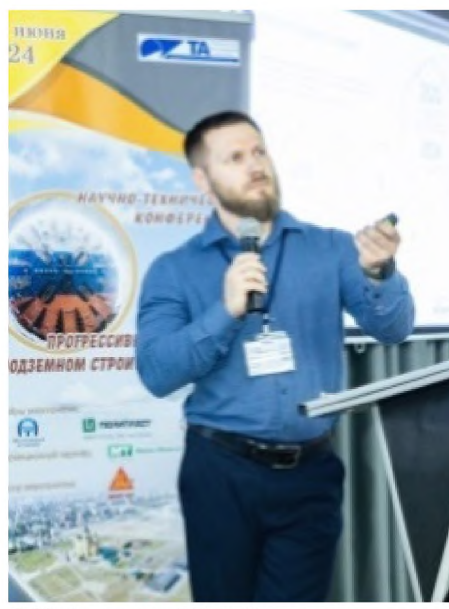
**В. А. Черненко, ООО «Эм-Си Баухеми»**



**В. Е. Русанов, ООО «НИЦ ТА»**



**А. Д. Логинова, ООО «Геоцем»**



**С. М. Фоменко, ООО «Цементум»  
(Холсим Рус)**

А. С. Ижевского, заместителя директора ООО «ТСК НУР». Это предприятие – крупный поставщик металлопродукции, включая б/у трубы, шпунт Ларсена, двутавр, лист и т. д. Здесь проводят обработку б/у труб (обжиг, пескоструйная обработка, нарезка фасок), лабораторные химические и механические испытания труб. Продукция, в частности, применяется при строительстве метро в г. Казань.

П. В. Вяткин (АО АМЗ «Вентпром») рассказал о вентиляторах Артёмовского машиностроительного завода «Вентпром» для проветривания тоннелей, их видах, сертификатах и заказчиках продукции, которая включает в себя вентиляторы для главного проветривания тоннелей типа BOM и типа АВ; струйные вентиляторы типов VSA и VSB; вентиляторы для проходки тоннелей типов ВМЭ, ВМЭ ВО и ВМЭ ВВ.

Слово взял И. О. Исаев (ООО «Институт «Мосинжпроект») с темой «Повреждения отделки тоннелей метрополитена и способы их ликвидации в зависимости от инженерно-геологических условий». В докладе рассматривались два случая из практики, где в результате ведения строительных работ отделка тоннелей получила повреждения. Описаны первоочередные ремонтные работы, порядок проведения дополнительных изысканий, а также подбор проектных решений для восстановления отделки.

Доклад Е. В. Степукова (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») был посвящен прогнозу развития НДС отделки сооружений метрополитена в реологических породных массивах. Им был описан анализ данных мониторинга состояния строительных конструкций метрополитена, находящихся в реологических массивах; разработка методик испытаний грунтов, проявляющих реологические свойства, а также прогноз влияния реологических свойств массива на конструкции метрополитена в будущем.

Выступление продолжил В. Н. Кавказский (ФГБОУ ВО ПГУПС) с сообщением «Основные проектные решения комплекса подземных сооружений аэропорта Пулково». Доклад содержал информацию о том, что кафедрой Тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I разработаны основные проектные решения 20 железнодорожных тоннелей на проектируемой двухпутной электрифицированной железнодорожной линии Лигово – Аэропорт Пулково – Шоссейная, с подземным железнодорожным терминалом сквозного типа в аэропорту и подземным размещением участка с западной стороны от терминала, под зданием аэровокзала, перронным полем и в зонах действия аэронавигационных технических комплексов, в соответствии с комплексом мероприятий, предусмотренных в Концепции по развитию железнодорожной инфраструктуры в целях организации пригородных и внутригородских пассажирских перевозок в Санкт-Петербургском железнодорожном узле, одобренным правительством Санкт-Петербурга.

Следующим выступил Е. Н. Крючков (ООО



**И. Ю. Кочетков, ООО «Строительные системы» (Sika)**



**П. В. Вяткин, АО АМЗ «Вентпром»**



**И. О. Исаев, ООО «Институт «Мосинжпроект»**



**Е. В. Степуков, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»**



**В. Н. Кавказский, ФГБОУ ВО ПГУПС**



**Е. Н. Крючков, ООО «Институт «Мосинжпроект»**

«Институт «Мосинжпроект») с докладом «Программа для расчета пригруза при проходе ТПК». Он ознакомил участников конференции с расчетом давления пригруза ТПК в оперативном режиме; с технологией определения давления пригруза на основе полученных данных мониторинга; с предотвращением дополнительного негативного влияния на существующие сооружения и снижением общей стоимости строительства.

Доклад О. Р. Кучеренко (ООО «НИЦ ТА») «Концепция определения категории технического состояния сооружений из чугунной обделки» раскрыл определение категории технического состояния здания и предложил установить ряд параметров, состоящий из дефектов, определяемых по средствам визуально-инструментального обследования, инженерно-геологических/гидрологических изысканий, а также поверочных расчетов. По результатам сопоставления вышеперечисленных параметров будет возможно определить фактическое техническое состояние сооружения, а также предсказать период перехода из одного состояния в другое.

Сменил докладчика В. А. Бербеницкий (АО «Мосинжпроект»). Выступление было посвящено Классификатору дефектов и методике расчета индекса качества. Опыт применения на объектах ГК «Мосинжпроект». Слушатели ознакомились с проблематикой темы, классификацией дефектов, методикой расчета и узнали о перспективах развития системы.

После участники конференции заслушали М. Е. Турсунова на тему «Комплексный подход к восстановлению герметичности подземных сооружений с применением современных методов инъектирования на примере объекта метрополитена». Докладчик описал новые методы к комплексному подходу по проектированию и производству работ по восстановлению герметичности подземных сооружений методами инъектирования с использованием современных материалов и, кроме того, показал и проанализировал результаты лабораторных испытаний для определения сравнительных технических характеристик образцов инъекционной гидроизоляции различных типов.

Следующим слово взял Т. Е. Кобидзе (АО «Мосинжпроект»). Его доклад на тему «Инновационная строительная и гидроизоляционная система для подземных сооружений открытого и полукрытого способа работ» описал причины и результаты аварийного обводнения подземных сооружений, предотвращение обводнения подземных сооружений на основе применения модифицированных напыляемых гидроизоляционных систем с двусторонней адгезией. Докладчик ознакомил слушателей с результатами лабораторных исследований, с конструктивно-технологическими решениями по возведению ограждающих конструкций наружной гидроизоляции с двусторонней адгезией, с синергетическим эффектом по повышению экономических характеристик возводимых открытым способом без пауз для обратной засыпки грунта двусторонней адгезией.



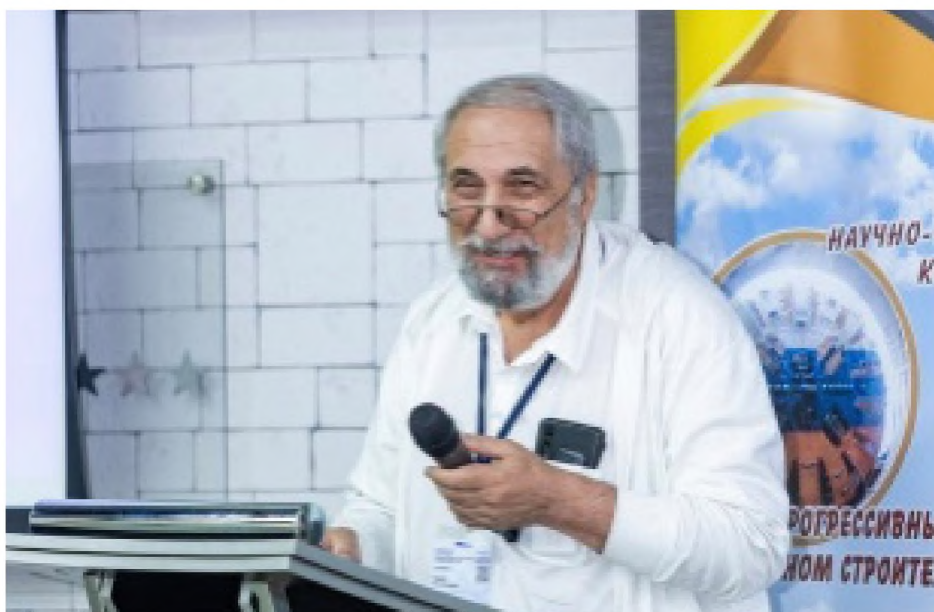
О. Р. Кучеренко, ООО «НИЦ ТА»



В. А. Бербеницкий, АО «Мосинжпроект»



М. Е. Турсунов, АО «Мосинжпроект»



Т. Е. Кобидзе, АО «Мосинжпроект»

Выступление продолжил Л. С. Галиев (ООО «НИЦ ТА») с докладом «Устранение водопроявлений на участках сопряжения конструкций строящегося метрополитена, выполненных открытым способом». Докладчик пояснил, что в условиях интенсивного развития сети метрополитена в Москве прокладка новых линий часто сопровождается возведением конструкций в непосредственной близости с действующими сооружениями, что в случае их примыкания связано с требованиями обеспечения равной прочности и водонепроницаемости узлов сопряжения. Как показала практика строительства, для решения этих задач необходимо выполнить закрепление окружающего грунтового массива и создать условия, исключающие возможные водопроявления.

Этим докладом завершился первый день конференции. После обсуждения выступления докладчиков состоялось награждение лауреатов Конкурса им. С. Н. Власова «Инженер года Тоннельной ассоциации России» по итогам работы за 2023 г.

Во второй день конференции была предоставлена возможность выступить с докладами о своей работе молодым членам Тоннельной ассоциации России (молодёжная секция).

Первым в этой части конференции выступил Д. Д. Полехин (ООО «НИЦ ТА») с докладом «Моделирование специального режима проходки в условиях плотной городской застройки». При строительстве тоннелей щитовым способом в условиях плотной городской застройки порой возникает тенденция к появлению сверхнормативных осадок сооружений. В таких случаях рекомендуется применение специального режима проходки, который заключается в нагнетании бентонитового раствора в кольцевой зазор вокруг щита для снижения потерь геометрического объема в неустойчивых грунтах выработки, контроле объема и плотности отбираемого грунта. С целью наиболее точного прогнозирования осадок в программно-вычислительном комплексе при таком режиме проходки необходимо произвести учет нагнетания бентонитового раствора за оболочку щита в расчетной модели.

После этого слово было предоставлено В. В. Митину (ООО «НИЦ ТА»). Участники конференции смогли ознакомиться с докладом на тему исследования влияния изменения свойств трещин и качества скального массива на его деформационные характеристики. В настоящее время в инженерной практике получила широкое распространение геомеханическая модель Хука-Брауна, которая позволяет учесть масштабный эффект при деформировании скального массива по средствам изменения критерия качества породы – GSI. На основе данной модели в рамках работы рассматривался процесс деформирования скального массива, разделенного взаимно перпендикулярными системами трещин. В качестве оценки изменения деформационных свойств массива рассматривались значения модуля деформации массива (E) на втором



**Л. С. Галиев, ООО «НИЦ ТА»**



**В. В. Митин, ООО «НИЦ ТА»**



**Е. И. Кучуркина, ООО «НИЦ ТА»**



**Д. Д. Полехин, ООО «НИЦ ТА»**



**А. М. Потокينا, АО «Мосинжпроект»**

и третьем участке деформирования. В качестве варьируемых параметров выбраны угол внутреннего трения, нормальная жесткость трещин, GSI, начальный модуль упругости скальной отдельности и прочность ненарушенного фрагмента на одноосное сжатие. Как результат, были получены и проанализированы графики деформирования зависимости  $\sigma$ - $\varepsilon$  и сделаны основные выводы.

Следующий докладчик Е. И. Кучуркина (ООО «НИЦ ТА») рассказала слушателям об анализе проектных скоростей строительства тоннелей  $D_{нар}/D_{нв} = 6,0/5,4$  м, сооружаемых тоннелепроходческими механизированными комплексами. Технические возможности современных ТПМК позволяют сооружать тоннели большой протяженностью и в различных инженерно-геологических условиях, достигая высоких скоростей при одновременном обеспечении качества сооружаемых конструкций и безопасности производства работ. В настоящее время вопрос определения скорости возведения тоннелей с применением ТПМК нормативной документацией не освещен. Стоимость строительства при этом напрямую зависит от продолжительности эксплуатации проходческих комплексов.

Затем А. М. Потокина (АО «Мосинжпроект») представила её совместный с В. В. Леоновой доклад, в котором они раскрыли тему влияния глубины заложения тоннеля и особенности инженерно-геологического строения грунтового массива на значение давления грунтопригрузки в шельге свода ТПМК. Установление закономерности влияния глубины тоннельной проходки на земную поверхность является основополагающей задачей при оценке давления пригруза на забой. Деформации земной поверхности являются результатом воздействия различных факторов, один из которых – инженерно-геологические и гидрогеологические условия. Анализ исследований просадок земной поверхности при ведении горнопроходческих работ свидетельствует о зависимости количественных параметров деформаций от физико-механических свойств грунтов вмещающего массива и глубины заложения тоннеля. Аналитическая и статическая обработка данных наблюдений за проходкой перегонных тоннелей помогла определить зависимость давления на забой от глубины заложения тоннеля. Сравнение значений рапортов датчиками давления, установленными в головной части ТПМК с данными геодезического проведенными проверочными расчетами пригруза забоя, подтверждает литературные данные, что процесс формирования нагрузки на лоб забоя зависит не только от горно-геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических свойств грунтов, слагающих массив, а также от глубины заложения тоннеля.

Далее А. Р. Попонин (НИТУ МИСиС) выступил с докладом о расчете пространственной модели ствола «СС-1», прилегающих выработок и рудоспусков рудника «Октябрьский» Заполярного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель». Сообщение основано на работе, проведенной в рамках комплекс-



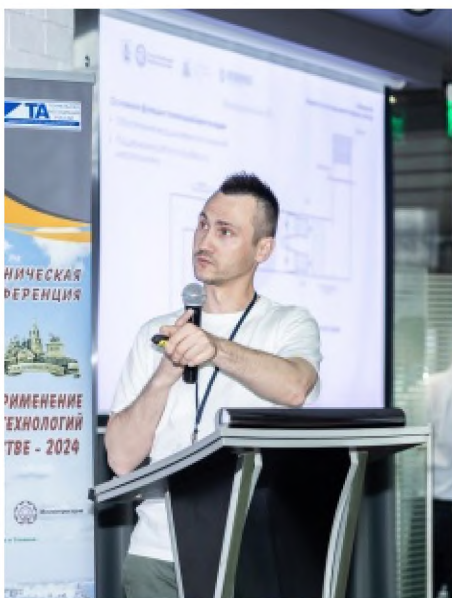
А. Р. Попонин, НИТУ МИСиС



Р. Л. Супрун, ООО «Институт «Мосинжпроект»



И. В. Бубнов, ООО «Институт «Мосинжпроект»



Д. И. Кашин, ООО «Институт «Мосинжпроект»



Д. М. Оленич, ФГБОУ ВО ПГУПС

ной оценки технического состояния ствола «СС-1» рудника «Октябрьский» ПАО ГМК «Норильский Никель» с выдачей рекомендаций по его дальнейшей эксплуатации. Ствол «СС-1» является скиповым, диаметр в свету – 6,5 м, глубина ствола – 960 м. Ствол запущен в эксплуатацию в 1979 г. и функционирует по сегодняшний день. В докладе рассматривались геомеханические расчеты, проведенные в рамках данного обследования. Поскольку для выполнения геомеханических расчетов пространственной модели ствола необходим большой объем исходных данных, в частности данных о состоянии крепи ствола «СС-1», предварительно были выполнены визуальное и инструментальное обследование. По результатам проведенных нелинейных расчетов получены значения распределения напряжений и перемещений, а также коэффициента устойчивости в форме изополей. По этим результатам были сделаны выводы о состоянии крепи ствола и воздействии рудоспусков на его техническое состояние.

После этого вниманию участников был представлен совместный доклад Д. И. Кашина, Р. Л. Супруна и И. В. Бубнова (ООО «Институт «Мосинжпроект»). Коллеги рассказали об обеспечении безопасной эвакуации людей из тоннелей метрополитена при чрезвычайных ситуациях с применением новейших технологий, материалов и технических средств. В докладе приводился анализ действующих норм в области безопасной эвакуации людей из тоннеля, анализ технических средств, включая системы видеонаблюдения, телефонии, систему диспетчеризации и автоматики. Были проанализированы современные требования к кабельным линиям связи, рассмотрены огнестойкие кабельные линии.

Далее выступил Д. М. Оленич (ФГБОУ ВО ПГУПС) с докладом «Экспериментально-теоретическое обоснование конструктивно-технологического решения станции с обделкой из монолитного железобетона в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга». Актуальность работы – разработка малоосадочной технологии строительства станций метрополитена в историческом центре Санкт-Петербурга. Цель исследования – экспериментально-теоретическое исследование конструктивно-технологического решения трехсводчатой станции с опорными тоннелями с обделкой из монолитного железобетона в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга на примере станции «Заставская» («Черниговская»).

Потом выступила Д. Е. Шабунина (ООО «ЦИОФП»). Тема её доклада «Методика формирования объемно-планировочных решений станций метрополитена». Существующие нормы не содержат методики для оценки правильности принятых объемно-планировочных решений объектов метрополитена, несмотря на наличие нормативных параметров пропускной способности для элементов путей движения пассажиров и пассажиропотоков. В нормативных документах отсутствуют





Д. Е. Шабунина, ООО «ЦИОФП»



Д. А. Голубева, ООО «ЦИОФП»



В. С. Кудрявцев, ООО «ЦИОФП»

критерии достаточности, например, является ли достаточным наличие одного вестибюля или пяти турникетов для обеспечения безопасного и комфортного нахождения пассажиров на станции метрополитена. Значения параметров пропускной способности эскалаторов значительно отличаются от значений, полученных экспериментальным путем. В работе представлена методика формирования объемно-планировочных решений станций метрополитена, позволяющая определить требуемое количество дверей, турникетов, эскалаторов и других средств попутного обслуживания, и произвести детальную оценку функционирования транспортного объекта с точки зрения безопасности и комфорта пассажиров.

Следующий докладчик Д. А. Голубева (ООО «ЦИОФП») ознакомила участников с работой «Влияние взрывообразного разрушения на железобетонные конструкции подземных сооружений». Основным требуемым параметром для подземных сооружений является эксплуатационная надежность,

которая включает в себе сохранение эксплуатационных характеристик конструкций на протяжении всего времени использования. Пожары в подземных сооружениях могут повлечь за собой обрушение конструкций, приводящее к гибели людей и значительному материальному ущербу. Изучение последствий пожаров свидетельствует о том, что разрушение конструкций в основном происходит по причине оголения арматурного каркаса вследствие взрывообразного (хрупкого) разрушения бетона. В докладе рассматриваются отечественные и зарубежные исследования явления взрывообразной потери целостности железобетонных конструкций и выявлены общие тенденции в области защиты конструкций подземных сооружений от опасных факторов пожаров.

Завершало молодежную секцию выступление В. С. Кудрявцева (ООО «ЦИОФП») на тему «Актуальные проблемы пожарной безопасности подвижного состава метрополитена». На сегодняшний день остается нерешенным вопрос пожарной безопасно-

сти подвижных составов вагонов метрополитенов. Потолки, вентиляционные решетки, диффузоры и воздуховоды вентиляционных установок, каркасы сидений и спинок диванов, ящики аккумуляторных батарей, огнезадерживающие перегородки между аппаратным отсеком, кабиной управления и пассажирским салоном изготавливаются из негорючих материалов; в качестве облицовки стен, покрытий полов, обивки сидений и спинок диванов применяются негорючие материалы. К активным системам противопожарной защиты уделяется меньшее внимание. С 1996 г. началась проработка вопроса установки в вагонах метрополитена автоматической системы обнаружения и тушения пожара электрооборудования и внутреннего пространства подвижного состава. Электрооборудование защищается при помощи тепловых датчиков и порошковых/газоаэрозольных смесей. Внутреннее пространство вагона оснащено дымовыми точечными извещателями пожарными и в настоящее время не оснащено установкой пожаротушения. Применение модульных средств тушения тонкораспыленной водой затруднено в связи с ограничением объема огнетушащего вещества, с невозможностью перераспределения воды между установками при пожаре и с порчей имущества граждан и подвижного состава при ложном срабатывании, а также с наличием баллона под давлением в пассажирской зоне и необходимостью постоянного контроля исправности системы, наличием воды в емкостях и проверкой давления вытесняющего газа. На данный момент вагоны электропоезда не оборудованы комплексной системой тушения и локализации пожара, что приводит к увеличению риска неконтролируемого горения подвижных составов. В исследовании произведен анализ нормативно-технической документации и существующих способов защиты вагонов электропоезда системами противопожарной защиты.

Всего за два дня деловой программы конференции заслушано и обсуждено более 30 докладов. Участники отметили, что состоялся конструктивный диалог и обмен опытом и мнениями между специалистами научного и строительного сообщества подземного строительства.

По итогам работы конференции сформирован электронный сборник материалов, с которым можно ознакомиться по ссылке:

[https://disk.yandex.ru/d/2urnDtpyLjrU\\_w](https://disk.yandex.ru/d/2urnDtpyLjrU_w)



Обзор подготовлен исполнительной дирекцией Тоннельной ассоциации России (И. А. Смотров, С. В. Мазнин, В. В. Внутских)



## ПАМЯТИ КОНСТАНТИНА ПЕТРОВИЧА БЕЗРОДНОГО



**21 апреля 2024 г. на 79-м году жизни перестало биться сердце советника генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» по научно-исследовательской работе Константина Петровича Безродного.**

Константин Петрович с 1960 г. работал в Ленметрострое, а с 1972 г. в течение 21-го года – в ЦНИИСе, сначала в Ленинградской лаборатории, а затем в лаборатории на строительстве тоннелей БАМ в г. Северобайкальске.

В 1993 г. в должности заместителя генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» он создал и возглавил научно-исследовательский отдел, состоящий из трех лабораторий – геомеханики, геофизики и геоэкологии. За 31 год, благодаря самоотверженной работе Константина Петровича, Ленметрогипротранс вышел на новый прогрессивный уровень изысканий и проектирования метрополитенов и подземных сооружений.

Константин Петрович, являясь преподавателем и научным руководителем, воспитал целую плеяду молодых специалистов. Являлся почетным членом Тоннельной ассоциации России, членом Российского общества по механике грунтов, геотехнике и фундаментостроению, председателем Государственной аттестационной комиссии по специальности «Строительство подземных сооружений в Горном институте». Им было написано 187 печатных работ, в том числе несколько монографий.

Константин Петрович имел множество Государственных наград: Почетная грамота Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу, Грамота Губернатора Санкт-Петербурга, медаль «За заслуги перед Санкт-Петербургом», орден Почета, медаль «Ветеран труда», медаль «За строительство БАМа», удостоен званий почетного строителя России и почетного транспортного строителя.

Был профессионалом высочайшего уровня! А еще мы запоем его как интеллектуала, обладающего энциклопедическими знаниями, знатока города Санкт-Петербурга, туриста и путешественника. Его отличали такие качества, как интеллигентность, энергичность и жизнелюбие.

Светлая память о Константине Петровиче Безродном навсегда останется в сердцах коллег, друзей и близких.

Правление Тоннельной ассоциации России



СИНЕРГО

Производство инновационных  
минеральных и химических  
продуктов

# СИНЕРГО

## ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

- Микроцементы MicroBond MC
- Обойменный раствор Бентоцем
- Материалы для компенсационного нагнетания САТгрунд и АПгрунд
- Композиционное минеральное вяжущее Геолит
- Полифункциональные модификаторы SYNERGY
- Акрилатные гели Синакрил
- Полиуретаны СиноПур
- Гидроизоляционная мембрана СиноСил
- Набрызг-бетоны SYNERGY
- Профессиональные ремонтные смеси SYNERGY
- Специальное вяжущее для струйной цементации Geolit Jet
- Тампонажные смеси для контрольного нагнетания

## ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНОВ И СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

- Высокоактивный метаксаолин
- Флюидизированная известь
- Пеногасители SYNERGY
- Глиноземистый цемент
- Гиперпластификаторы SYNERGY PCE
- Расширяющие модификаторы Metadol



+7 (800) 301-18-07  
MINERALPRODUCTS.RU



акционерное общество

# НЬЮ ГРАУНД

С нами строить легко!

• Строительство

- подземные парковки
- гидротехнические сооружения
- новые территории

- Усиление фундаментов и оснований
- Геомассив
- Выполнение работ на объектах культурного наследия
- Усиление грунтов и оснований на мерзлых грунтах
- Проектирование подземных частей зданий и сооружений

подземный паркинг

ограждение котлованов

стена в грунте

закрепление грунтов

Контакты:  
614081, г. Пермь,  
ул. Кронштадтская, д. 35  
тел.: +7 (342) 236-90-70 (многоканальный)  
+7 (342) 236-90-64  
Office@new-ground.ru  
www.new-ground.ru

Москва (495) 643-78-54  
Ижевск (3412) 56-62-11  
Казань (843) 296-66-61  
Нижний Новгород (831) 410-68-66  
Уфа (917) 378-07-48  
Самара (912) 059-30-83  
Краснодар (861) 240-90-82

Ростов-на-Дону (863) 311-36-36  
Крым (978) 939-38-33  
Санкт-Петербург (812) 923-48-15  
Тюмень (3452) 74-49-75  
Екатеринбург (912) 059-30-83  
Красноярск (391) 203-68-20  
Новосибирск (383) 286-12-83