

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

А. Ю. Старков

**Б. И. Федунец**, доктор техн. наук

Т. В. Шепитько, 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



## № 2 2023

### В Тоннельной ассоциации России

Итоги научно-технической конференции

«Применение прогрессивных технологий

в подземном строительстве – 2023»

2

### Проектирование

Особенности проектирования линии скоростного

транспорта в Челябинске в условиях плотной застройки

9

Д. А. Цюпа

### Юбиляры отрасли

12

### Строительство

Строительство нового Дуссе-Алиньского

железнодорожного тоннеля

16

В. И. Рындыч, С. В. Плеханов, Р. В. Галунина

В ближайшем будущем Москва поедет быстрее

18

Новая реальность Самарского метро

22

### Наша история

Ю. А. Лиманов – ученый, педагог, инженер

27

### Гидроизоляция

Оценка работ по ремонту гидроизоляции

деформационного шва в подземной части стилобата

30

С. В. Мазеин, А. Б. Лебедьков, И. Я. Дорман

### Специальные способы работ

Закрепление неустойчивых водонасыщенных грунтов

способом искусственного замораживания для сооружения

межтоннельных сбоек при строительстве метрополитенов

34

Е. А. Депланьи, В. П. Кивлюк, Д. С. Конюхов

### Геотехника

Особенности работы и преимущества свай с уширением

39

Д. Ю. Чунюк, Чан Ван Хунг, С. М. Сельвиан

### Уникальные проекты

Уникальные подводные тоннели будущего

43

Л. В. Маковский, В. В. Кравченко

# СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Установка анкеров  
в Дуссе-Алиньском  
тоннеле  
(с. 16)

# ИТОГИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРЕССИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ – 2023»



**31 мая 2023 г. в казанском отеле «Ривьера» (Республика Татарстан) прошла организованная Тоннельной ассоциацией России (ТАР) при участии АО «Казметрострой» научно-техническая конференция «Применение прогрессивных технологий в подземном строительстве – 2023».**

Партнёрами мероприятия выступили АО «Мосинжпроект» и АО «Мосметрострой», спонсор – ООО «Синерго», информационный партнёр – журнал «Метро и тоннели».

В мероприятии приняли участие более 100 специалистов проектных, строительных и эксплуатационных организаций, вузов, а также компаний-производителей специализированного оборудования и материалов России и ближнего зарубежья (всего более 50 организаций).

С приветственным словом к участникам конференции обратились: председатель правления ТАР К. Н. Матвеев; генеральный директор АО «Казметрострой», депутат Казанской городской Думы М. М. Рахимов и заместитель генерального директора АО «Мосметрострой» М. Ю. Беленький.

До начала деловой части конференции председатель правления ТАР К. Н. Матвеев вручил Свидетельства о членстве в Тоннельной ассоциации России новым участникам. Руководитель управления конгрессно-выставочной деятельностью АО «Мосинжпроект» А. А. Жаркова от лица партнера мероприятия поздравила новых членов ТАР и вручила эксклюзивные наборы материалов, посвящён-



**М. М. Рахимов, АО «Казметрострой»**

ных открытию Большой кольцевой линии (БКЛ) Московского метро.

Модераторами конференции выступили доктор технических наук, профессора И. Я. Дорман и В. Е. Меркин.

Первая секция конференции началась с доклада А. Г. Полянкина (АО «Мосинжпроект»), посвященного применению цифро-



**М. Ю. Беленький, АО «Мосметрострой»**

вых технологий при строительстве Большой кольцевой линии в Москве. В докладе были подробно описаны цифровые сервисы и новые технологии, применявшиеся при строительстве и сдаче в эксплуатацию БКЛ Московского метрополитена. Особое внимание было уделено применению цифровых информационных моделей объектов.





**К. Н. Матвеев (ТАР) и А. А. Жаркова (АО «Мосинжпроект») вручают Свидетельства о членстве в ТАР А. Н. Вялых (АО «Бамтоннельстрой-Мост»)**

Затем последовал доклад А. А. Пискунова, подготовленный совместно с И. Я. Харченко, А. И. Харченко, А. Н. Сониным и Е. А. Пестряковой (РУТ (МИИТ)) «Научно-техническое сопровождение при проектировании и разработке СТУ на СМТ-2».

П. Н. Непочелович (ОАО «Минскметропроект») рассказал об особенностях проектных решений строительства первого и второго участков третьей линии Минского метрополитена. Строительство метрополитена в г. Минске ведется с 1977 г. Линия «В» – третья линия Минского метрополитена. Ее протяженность составит 19 км, на ней будет расположено 14 станций, инженерный корпус, здание эксплуатационного персонала, электродепо «Слуцкое». Линия соединит южный и северный секторы Минска с центральной частью города. Строительство первого участка линии «В» от станции «Корженевского» до станции «Юбилейная» протяженностью 7,72 км обеспечит скоростной



**И. Я. Дорман, д. т. н., профессор**



**В. Е. Меркин, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»**



**А. Г. Полянкин, АО «Мосинжпроект»**



**А. А. Пискунов, РУТ (МИИТ)**



**П. Н. Непочелович, ОАО «Минскметропроект»**

транспортной связью с другими районами города жилой район «Курасовщина», а также жилой район «Минск-Мир». При этом в центре города будет создан транспортно-пересадочный треугольник с вершинами в узлах на станциях «Октябрьская» – «Купаловская», «Площадь Ленина» – «Вокзальная» и «Фрунзенская» – «Юбилейная». Линия рассчитана на обращение 40 пар пятивагонных поездов в час пик.

В настоящее время введены в эксплуатацию четыре станции, ведутся работы по проектированию и строительству первого участка третьей линии метрополитена, где предусмотрено строительство трех станций и электродепо «Служское». Две из семи станций – пересадочные. Пересадочные узлы построены между станциями «Фрунзенская» – «Юбилейная Площадь» и «Площадь Ленина» – «Вокзальная».

Приоритетными при разработке проекта являются: повышение комфортности передвижения пассажиров, высокий уровень автоматизации, технической безопасности и энергоэффективности при эксплуатации.

А. С. Гнитиенко (ООО ПИИ «Бамтоннельпроект») доложил о методах решения проблемы обводненности тоннелей № 6, 7 перегона Сочи – Магеста.



**А. С. Гнитиенко, ООО ПИИ «Бамтоннельпроект»**

Доклад А. С. Маренкова (ФАУ «ФЦС») был посвящен планам разработки нормативных документов в области транспортного тоннелестроения, а именно:

- пересмотру ГОСТ 23961 «Метрополитены. Габариты приближения строений, обслуживания и подвижного состава»;
- проведению комплекса научно-исследовательских работ по определению распространения зон промерзания за обделкой в транспортных тоннелях, располагающихся в водонасыщенных грунтах»;
- выполнению научно-исследовательской работы по теме: «Проведение экспериментальных исследований хрупкого взрывообразного разрушения железобетонных кон-



**А. С. Маренков, ФАУ «ФЦС»**

струкций при пожаре в транспортных тоннелях и метрополитенах».

Следующая серия докладов была посвящена проблемам научно-технического сопровождения строительства. Ее открыл М. О. Лебедев (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»), подготовивший в соавторстве с А. С. Саммалем и П. В. Деевым (Тульский государственный университет) сообщение «Результаты теоретических и натурных исследований формирования полей напряжений в обделках транспортных тоннелей и вмещающем горном массиве, подверженном влиянию техногенных факторов». Ана-



**М. О. Лебедев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»**

лиз накопленной базы данных мониторинга обделок транспортных тоннелей, построенных с применением различных технологических схем в различных геологических условиях, позволил установить закономерности изменения напряженного состояния вмещающего горного массива и подземных конструкций вследствие влия-

ния техногенных факторов. С целью оценки влияния техногенных воздействий при проектировании подземных сооружений предлагается использовать адаптированный аналитический метод расчета обделок тоннелей. В качестве примера моделируется формирование полей напряжений в обделке перегонного тоннеля метрополитена и окружающем массиве грунта в процессе эксплуатации. Авторами выполнено сравнение результатов моделирования с данными натурных измерений.

Тематику продолжил Д. С. Конюхов (АО «Мосинжпроект»), подготовленным совместно с В. В. Агафоновым и Е. Ю. Куликовой (НИТУ «МИСИС») докладом «Комплексное планирование стратегии реализации технологий освоения подземного пространства мегаполисов». Развитие подзем-



**Д. С. Конюхов, АО «Мосинжпроект»**

ного строительства в условиях плотной городской застройки предъявляет повышенные требования к обеспечению безопасности проведения строительных работ. Возникает проблема создания системы комплексного планирования соответствующей технологии. Из анализа накопленного опыта сформулирован вывод, что система комплексного планирования стратегии реализации технологий подземного городского строительства должна опираться:

- на методологические достижения в управлении строительством,
- научно-технологические стратегии освоения объемов подземного пространства,
- новый уровень инвестиционной привлекательности, конкурентоспособности и промышленно-экологической безопасности.

В ряде случаев это позволяет обеспечить безопасность существующей застройки без дополнительного усиления конструкций зданий или противоаварийных мероприятий, составляет концептуальную основу рассматриваемой системы и создает фундаментальные условия успешного ее осуществления.



Следующим выступил докладчик М. С. Плешко (НИТУ «МИСИС»), рассказавший о новых подходах к оценке технического состояния подземных сооружений. В настоящее время все большую актуальность приобретают вопросы, связанные с восстановлением и реконструкцией подземных сооружений и горных выработок. Своевременность, а так-



**М. С. Плешко, НИТУ «МИСИС»**

же обеспечение комплексной безопасности этих работ является необходимым условием успешной реализации проекта. Существующие нормативные документы в этой сфере имеют недостатки и пробелы. В связи с этим предложен комплексный подход, включающий геофизическое изучение состояния пород, экспериментальную оценку несущей способности крепи, проведение вычислительных экспериментов методом конечных элементов в трехмерной постановке задачи, анализ и прогнозирование надежности конструкций с применением современного математического аппарата и информационных технологий.

Завершил тематику И. О. Исаев (ООО «Институт Мосинжпроект»), рассказавший об исследовании влияния тоннелепроходческих работ на оседание земной поверхнос-



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

ти. Им были проанализированы результаты мониторинга деформаций окружающей застройки при проходке ТПМК за последние три года, выявлены зависимости от давления в забое ТПМК и прочих факторов и определены значения коэффициента перебора, а также собрана база для создания программного комплекса по подбору давления в забое ТПМК

Следующую серию докладов, посвященных применению современных строительных материалов в подземном строительстве и методам ремонта подземных сооружений, открыла Э. А. Николова (ООО «МИП-Строй № 1») с сообщением «Современные прогрессивные виды бетона: возможности и особенности применения в тоннелестрое-



**Э. А. Николова, ООО «МИП-Строй № 1»**

нии». На сегодняшний день разработано немало различных модификаций основного конструкционного строительного материала – бетона, в значительной степени меняющих его свойства и параметры конструкций в целом. Однако широкого практического применения модифицированные бетоны до сих пор ещё не получили.

Предложенный обзор показывает на примере существующих объектов дости-

жения отечественного и зарубежного опыта применения некоторых прогрессивных видов бетона.

Например, фибробетон лучше воспринимает воздействие динамических нагрузок, что является весьма важной характеристикой для сейсмоопасных районов. Кроме того, применение фибробетона снижает затраты на объём и трудоёмкость его производства. Вместе с тем сверхвысокопрочный бетон даёт преимущество конструкциям в условиях их перегрузки или землетрясения, обеспечивая высокую долговечность вследствие возрастания работы на растяжение после начала трещинообразования.

Опираясь на имеющиеся достижения и изучая новые составы и свойства модифицированных видов бетона, можно решить ряд важных проблем, возникающих при подземном строительстве и в тоннелестроении, а также увеличить срок службы конструкций транспортных сооружений и практически исключить необходимость их обслуживания.

Тему продолжил В. А. Алексеев (ООО «СИНЕРГО»), рассказавший об инновационных материалах для закрепления и стабилизации грунтов при строительстве подземных конструкций. Увеличивающиеся мас-



**В. А. Алексеев, ООО «СИНЕРГО»**

штабы строительства и освоение городского пространства требуют применения интенсивных технологий и нестандартных решений, особенно в изменяющихся строительных условиях. Развитие новых технологий и предложение новых технических решений является неотъемлемой частью прогресса. Компания ООО «Синерго» постоянно совершенствует существующие материалы и технологии, внедряет перспективные материалы, имеющие значительно улучшенные характеристики относительно базовых параметров. Так для линейки микроцементов разработана марка МС-1 с размерами частиц менее 1 мкм, которая позволяет закреплять даже малопроницаемые грунты в режиме

пропитки. Для закрепления и контрольной стабилизации грунтов в зонах заморозки традиционные цементные и полимерные составы не рекомендуются ввиду резкого падения прочностных показателей. Специально разработанная композиция «Геолит Крио» позволяет производить инъекционное закрепление грунтов даже на участках заморозки с целью стабилизации водонасыщенных грунтов, даже без остановки процесса заморозки.

Выступившая за ним А. Б. Щукина (ООО «Системные продукты для строительства») обратила внимание собравшихся на необходимость системного подхода к разработке технологии решений по ремонту железобетонных конструкций подземных сооружений транспортного назначения. Проблема



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

безотказности и эксплуатационной надежности подземных сооружений транспортного назначения всегда имела особое значение. Под воздействием природных и техногенных факторов в материалах конструкций протекают различного вида деструктивные процессы, которые приводят к возникновению дефектов различного рода. В связи с этим значимость вопросов их сохранности, надежной безаварийной эксплуатации и оптимального, то есть качественного и долговременного ремонта с годами только возрастает. Первоочередной задачей при проведении ремонта бетона на объектах транспортной инфраструктуры является определение и выдерживание необходимых значений диапазонов паропроницаемости слоев ремонтной системы, толщины ремонтной системы, совместимости материалов, в том числе по паропроницаемости.

Доклад А. Ю. Долгих (Уральское отделение ТАР) был посвящен оценке роли защитного экрана при строительстве транспортных тоннелей.

Дефекты в конструкциях чугунной обделки, возможные причины и вероятные по-



**А. Ю. Долгих, Уральское отделение ТАР**

следствия их развития были проанализированы в работе Е. И. Кучуркиной (ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»). Чугунная обдел-



**Е. И. Кучуркина, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»**

ка тоннелей метрополитена обеспечивает высокую прочность и надежность конструкций, хорошую стойкость к сейсмическим и вибрационным нагрузкам, устойчивость к агрессивным инженерно-геологическим условиям, но такая обделка все равно подвержена коррозии и постепенному изнашиванию. Дефекты, возникающие на стадии монтажа конструкций обделки и во время эксплуатации тоннелей метрополитенов, могут привести к аварийным ситуациям и угрозе безопасности пассажиров. Рассмотрены причинно-следственные связи появления дефектов в чугунной тоннельной обделке, последствия их развития и их влияние на техническое состояние обделки. Для повышения качества обследования тоннелей, обделка которых выполнена из чугунных тубингов, предлагается система-

тизировать виды дефектов для создания единой их классификации.

Следом за ней А. В. Коняшин (ООО «Эм-Си Баухеми») рассказал о современных методах восстановления гидроизоляции тоннелей и усиления грунтов методом инъектирования полимерных составов на объектах тоннелестроения.



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

А. А. Рокотянский (ООО «МБС Строительные системы») дополнил этот вопрос докладом о герметизации тоннельной обделки объектов подземного строительства.



**А. А. Рокотянский, ООО «МБС Строительные системы»**

Закрыл секцию А. Ю. Глуценко (ООО «РУСИНЖЕКТ»), представивший двухкомпонентный универсальный электрический насос для закачки акрилатных гелей и полиуретановых составов.

Следующая секция была посвящена обеспечению безопасности строительства и эксплуатации подземных сооружений. Она началась с доклада М. В. Медяника (НИУ МГСУ)





**А. Ю. Глущенко, ООО «РУСИНЖЕКТ»**

об особенностях обеспечения пожарной безопасности на объектах метрополитена.

Затем А. А. Лянда и И. А. Сиваков (ОАО «Ленметрогипротранс») рассказали об оптимизации проектных решений по тяговой сети и системам АТДП с использованием современных средств автоматизации. Ими был рассмотрен опыт ОАО «Лен-



**И. А. Сиваков, ОАО «Ленметрогипротранс»**

метрогипротранс» в части разработки программного комплекса БМТ и его применения при проектировании объектов метрополитена в части тяговой сети и системы АТДП, а также оптимизации проектных решений.

1. Описание архитектуры и возможностей программного комплекса для проектирования тяговой сети линии метрополитена и системы АТДП, позволяющего моделировать движение поездов с учетом реальных характеристик поездов и принятого графика движения. Модель графика движения поездов, выбор наилучшего сочетания графиков, учет тяговых и тормозных харак-

теристик подвижного состава, учет ограничений на участке линии. Выбор оптимальных режимов ведения.

2. Расчет тяговых подстанций в рабочих и аварийных режимах, питающих и отсасывающих кабелей, кабельных перемычек, токов короткого замыкания. Методика расчета и результаты. Перспективы применения современных технологий для снижения энергопотребления на линии: использование биметаллического рельса, применение накопителей, учет рекуперации.

3. Расчет пропускной способности и расстановки сигнальных точек для линии метрополитена. Методика расчета, подбор параметров для обеспечения заданной пропускной способности.

4. Моделирование внештатных ситуаций на линии метрополитена.

Доклад А. В. Гордеева (РУТ (МИИТ)) был посвящен результатам измерения параметров колебаний конструкций пути в железнодорожных тоннелях. Им был описан



**А. В. Гордеев, РУТ (МИИТ)**

опыт эксплуатации безбалластных и балластных конструкций пути с упругими элементами, уложенными в тоннелях железных дорог. Определены уровни виброускорений при проходе поездов на элементах верхнего строения пути и на тоннельной обделке. Цель исследования заключалась в оценке эффективности снижения вибраций, возникающих при прохождении поездов и передающихся на тоннельную обделку. Представлен результат по оценке эффективности конструкций пути с подбалластными матами, с блоками LVT и конструкций пути системы масса-пружина на малогабаритных рамах.

Тему продолжил О. О. Шелгунов (ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс») с сообщением «Прогноз аэродинамических процессов в однопутных тоннелях на высокоскоростных железнодорожных магистралях». При проектировании тоннелей в условиях высокоскоростного движения поез-



**О. О. Шелгунов, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»**

дов важно оценивать аэродинамическое состояние системы «тоннель-поезд», а также степень влияния факторов, чтобы спрогнозировать максимальную величину аэродинамического давления.

В докладе приведены результаты исследований аэродинамических процессов при эксплуатации однопутных тоннелей на высокоскоростных железнодорожных магистралях, проведенных методом численного моделирования, а также их верификация с зарубежными натурными исследованиями.

Комплексная оценка аэродинамического состояния системы «тоннель-поезд» по разработанной методике численного моделирования позволит обоснованно принимать оптимальные инженерные решения при проектировании однопутных тоннелей на высокоскоростных железнодорожных магистралях

Секцию закрыла Е. Ю. Куликова (НИТУ «МИСИС»), доложившая о методах оценки



**Е. Ю. Куликова, НИТУ «МИСИС»**





Лауреаты конкурса им. С. Н. Власова на звание «Инженер года Тоннельной ассоциации России»



Участники конференции на заводе ЖБИ АО «Казметрострой»

Участники конференции на строящейся станции «100 лет ТАССР» Казанского метрополитена



геотехнических рисков при обустройстве ограждающих конструкций подземных сооружений. Химическое укрепление грунтов широко используется в практике подземного строительства для создания ограждающих конструкций подземных сооружений на период их строительства, эксплуатации, а также для ремонтно-восстановительных работ. Однако не существует научно-обоснованных методов определения технологических средств и приемов, которые позволили бы назначить укрепляющие полимерные средства и технологию химического укрепления, обеспечивающую сохранение заданных физико-механических свойств защитной грунтовой конструкции. Отсутствие механизма оценки риска формирования ограждающей конструкции в отдельных случаях приводит к катастрофическому выходу из строя важнейших капитальных подземных сооружений.

Прочностные, гидроизолирующие и другие свойства любых укрепленных грунтов зависят от их структуры. Коэффициент удельной поверхности фильтрации ограждающей конструкции определяет степень контакта агрессивных агентов с наименее устойчивыми элементами структуры полимера и, как следствие, возрастает скорость разрушения ограждающей конструкции подземного сооружения. Рассмотрены процессы старения ограждающей конструкции под влиянием внешних факторов, провоцирующих риск ее раннего разрушения и миграции токсических веществ в окружающий породный массив.

В заключительной части конференции научный руководитель ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации» проф. В. Е. Меркин провел дискуссию по результатам выступления участников и поблагодарил всех за плодотворную работу и интересные сообщения.

После конференции состоялись награждения победителей конкурса им. С. Н. Власова на звание «Инженер года Тоннельной ассоциации России» по итогам работы 2022 г.

На следующий день – 1 июня 2022 г. состоялась экскурсия, организованная АО «Казметрострой», на строящиеся объекты Казанского метрополитена.



Автор обзора – Д. С. Конюхов,  
АО «Мосинжпроект»



# ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИИ СКОРОСТНОГО ТРАНСПОРТА В ЧЕЛЯБИНСКЕ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ЗАСТРОЙКИ

## FEATURES OF THE DESIGN OF A HIGH-SPEED TRANSPORT LINE IN CHELYABINSK IN CONDITIONS OF DENSE DEVELOPMENT

Д. А. Цюпа, технический директор ГК «Моспроект-3»  
D. A. Tsyupa, Technical Director Mosproekt-3 Group of Companies



Описано проектирование скоростного транспорта в г. Челябинске с использованием результатов строительства, осуществляемого с 1992 г. Выполняемый по заказу правительства Челябинской области проект предполагает строительство пяти станций, три из них глубокого заложения и две – мелкого.

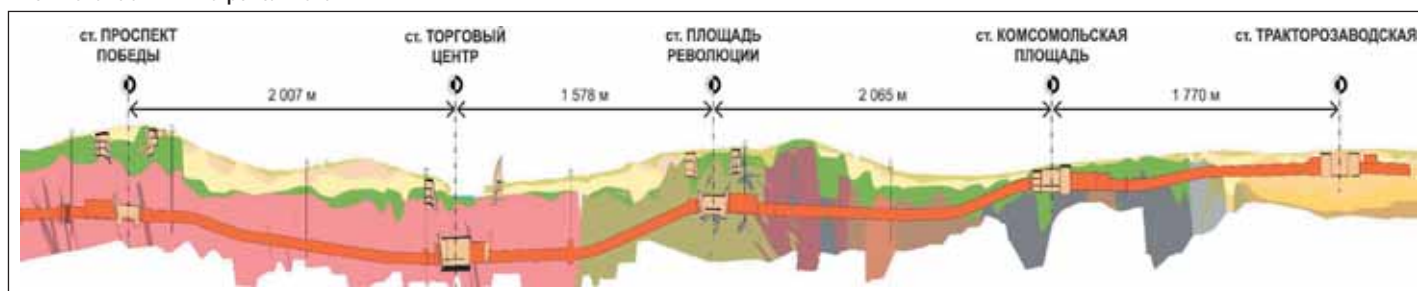
ГК «Моспроект-3» реализует проект скоростного транспорта в г. Челябинске по заказу правительства Челябинской области, используя результаты строительства, осуществляемого с 1992 г. Проект предпола-

гал строительство пяти станций, из них три станции глубокого заложения и две – мелкого (рис. 1).

К 2022 г. были выполнены следующие объемы:

- станция «Комсомольская площадь» с вестибюлем № 2 сооружена в основных конструкциях;
- от станции «Комсомольская площадь» в сторону станции «Площадь Революции» со-

Рис. 1. Схема линии метрополитена



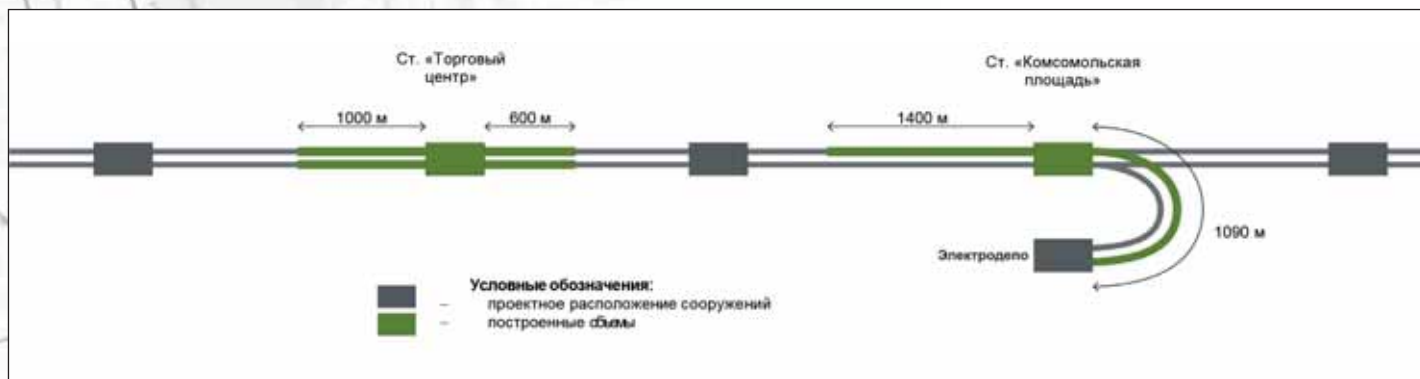


Рис. 2. Схема построенных объемов

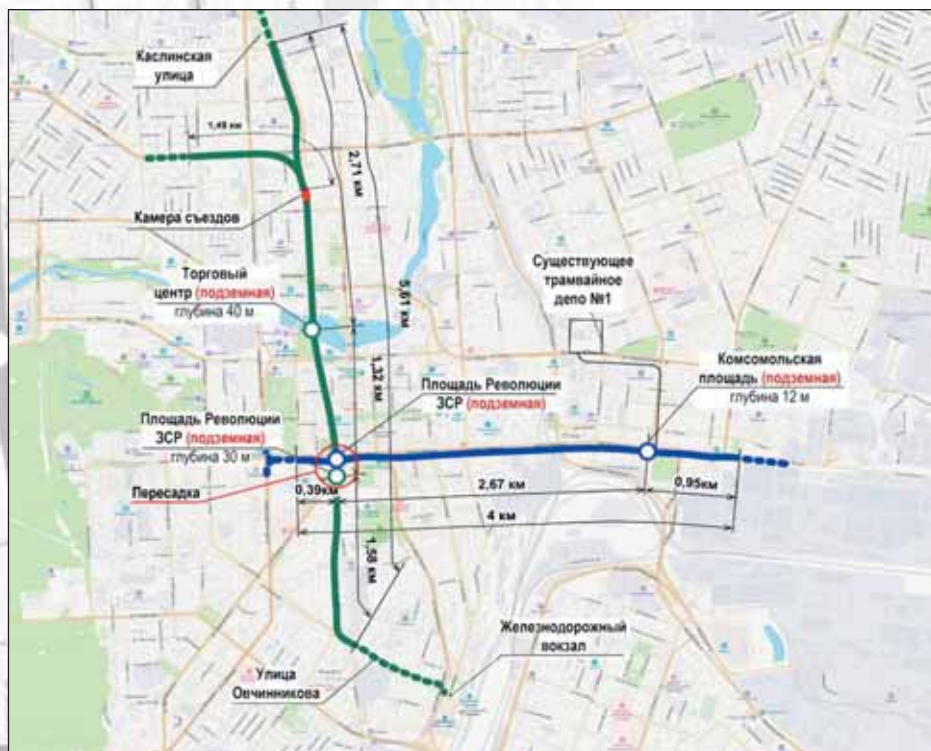
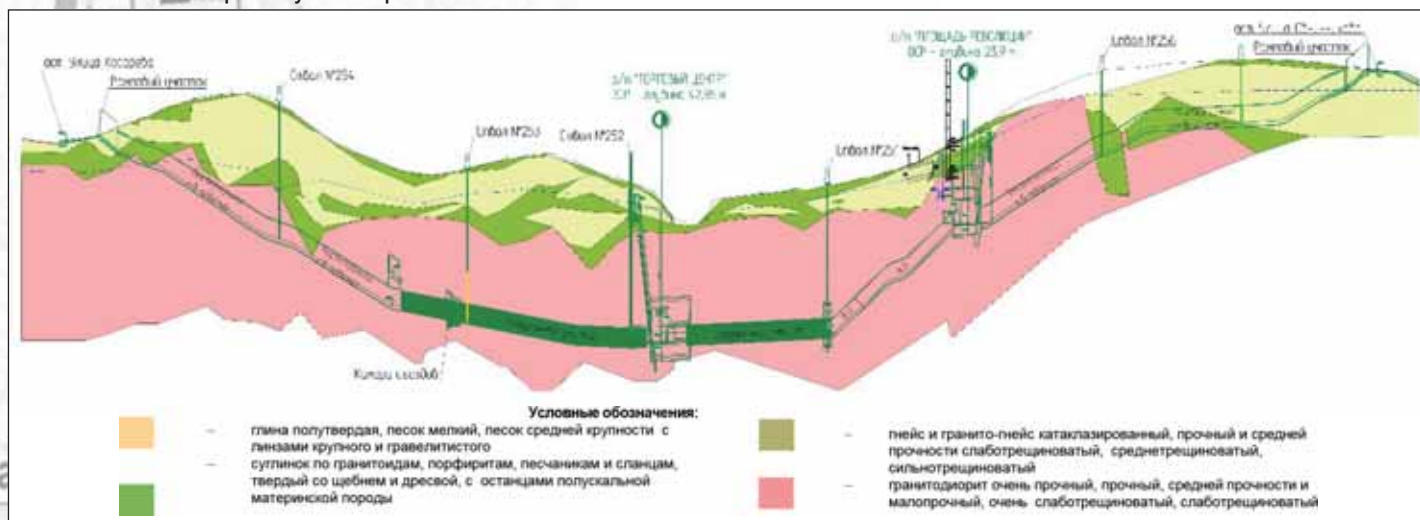


Рис. 3. Проектная схема метротрамвая

оружен перегонный тоннель при помощи ТПМК длиной почти 1400 м через Челябинский разлом;

- станция «Торговый центр» сооружена в основных конструкциях;

Рис. 4. Геологическое строение участка строительства



• от станции «Торговый центр» сооружены перегонные тоннели в обоих направлениях длиной примерно 3500 м (рис. 2).

Материалы обследований в 2013 г. состояния построенных подземных выработок показали, что конструкции подземных сооружений метрополитена г. Челябинска, за исключением правого тоннеля ветки в депо от ПК 05+37,19 до ПК 01+35,28 и правого перегонного тоннеля от ПК 52+64,80 до ПК 58+70,00, в целом находятся в работоспособном состоянии. Конструкции обделок правого тоннеля ветки в депо от ПК 05+37,19 до ПК 01+35,28 и правого перегонного тоннеля от ПК 52+64,80 до ПК 58+70,00 находятся в ограниченно-работоспособном состоянии и выявлена необходимость их усиления (экспертное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России»).

На основании одобренного инфраструктурного бюджетного кредита на завершение строительства внеуличного городского транспорта в г. Челябинске, ГК «Моспроект-3» в 2022 г. разработал документацию по обоснованию инвестиций, в отношении которых планируется заключение контрактов, предметом которых является одновременное выполнение работ по проектированию, строительству и вводу в эксплуатацию объекта капитального строительства: «Строительство линии скоростного транспорта в городе Челябинске».

При разработке документации учитывались много факторов:



- максимальное использование уже построенных выработок и сооружений;
- изменения в градостроительном развитии челябинской агломерации относительно запланированной в 80-х годах прошлого века трассы метрополитена;
- формирование новых точек притяжения и создание транспортных узлов.

Рассмотрев все градостроительные ограничения и пожелания правительства Челябинской области, ГК «Моспроект-3» предложены следующие проектные решения:

- осуществить переход от метрополитена к легкорельсовому транспорту (метротрамваю);
- выполнить интеграцию линии с существующими видами городского транспорта;
- использовать мощности существующих трамвайных депо;
- уменьшить глубину заложения нестроенных подземных станций;
- изменить объемно-планировочные решения станций, что позволяет минимизировать количество рабочих мест обслуживающего персонала на станциях, оптимизировать компоновочные решения вестибюлей станционных комплексов и изменить системы оплаты проезда.

Наиболее значимые изменения связаны с переосмыслением концепции скоростного транспорта, разделением одной линии метрополитена преимущественно глубокого заложения на две пересекающиеся линии метротрамвая (рис. 3), увеличив тем самым охват территории и востребованность объекта для пассажиров.

Проект будет реализован в два этапа. Первым этапом в реализацию принята линия «Север-Юг» (отмечена зеленым цветом на рис. 3). Завершение строительства объекта планируется в конце 2025 г. Второй этап (показан синим цветом) – строительство после 2025 г.

Рельеф участка строительства обусловлен расположением его территории на стыке Зауральского пенеплена и Западно-Сибирской низменности с общим уклоном местности с запада на восток.

Гидрография участка работ представлена реками Игуменка и Миасс.

Следует отметить, что естественный рельеф претерпел значительные изменения, характерные для промышленных мегаполисов, каким и является г. Челябинск.

В гидрогеологическом отношении на данной территории получил распространение единый водоносный горизонт зон трещиноватости – пластовых подземных вод, разделенный по принципу литологической принадлежности водовмещающих пород.

Главной структурной особенностью площади является ее блоковое строение, создаваемое системами разломов и сдвигами нарушениями северо-восточного, северо-западного направлений.

Это обусловило формирование двух структурных этажей: складчатого и платформенного.

По совокупности геоморфологических, литологических, гидрогеологических и физико-

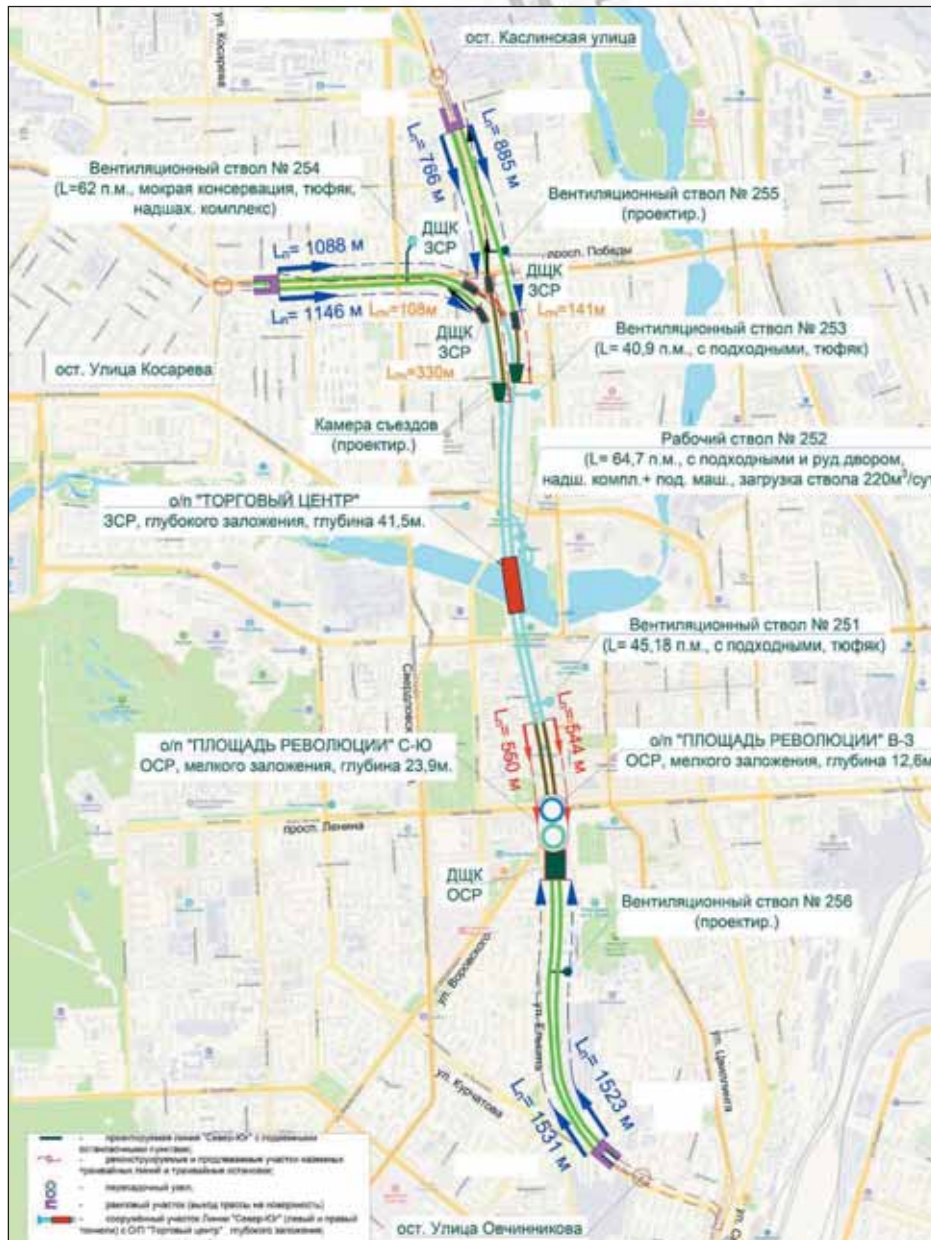


Рис. 5. Схема строительства

механических признаков исследуемый участок трассы относится к III категории сложности инженерно-геологических условий (рис. 4).

При строительстве первого этапа планируется полностью использовать уже построенные выработки.

Для организации строительства откроют пять забоев из существующих выработок.

Дополнительно будет организовано семь забоев, шесть рамповых участков и один из станционного котлована остановочного пункта «Площадь Революции». Схема строительства представлена на рис. 5.

### Ключевые слова

Инфраструктурный бюджет, метротрамвай, объемно-планировочные решения.

*Infrastructure budget, metro tram, space-planning solutions.*

### Для связи с автором

Цюпа Дмитрий Александрович  
d.tsyupa@mospp.ru



## 85 ЛЕТ – НЕ ПРЕДЕЛ ДЛЯ ТВОРЧЕСКОЙ РАБОТЫ

5 июня 2023 г. исполнилось 85 лет Игорю Яковлевичу Дорману, советнику Тоннельной ассоциации России, доктору технических наук, профессору, академику Российской академии естественных наук (РАЕН), кавалеру государственных наград, почетному транспортному строителю. Редакция предлагает вниманию читателей содержание беседы с Игорем Яковлевичем Дорманом в связи с его юбилеем.



**– Игорь Яковлевич, в России есть традиция вспоминать к юбилею основные этапы биографии человека. За 85 лет Вы прошли сложный и очень интересный отрезок жизненного пути. Нельзя ли прокомментировать наиболее яркие моменты?**

– Вполне естественно, что после окончания средней школы я пошел по стопам своего отца – метростроителя с первой очереди строительства Московского метрополитена, и в 1955 г. поступил на факультет тоннели и метрополитены МИИТа, который спустя пять лет закончил с отличием.

Далее – работа по распределению в московском Метрострое в должности мастера, начальника смены, начальника участка.

Отец, более 50 лет отдавший науке и практике метростроения, постоянно требовал и от меня самосовершенствования и развития моей профессиональной карьеры.

Итак, следующий этап – аспирантура в ЦНИИСе, где один из основоположников отечественного тоннелестроения профессор В. Л. Маковский предложил мне тему для диссертации, связанную с щитовой проходкой перегонных тоннелей с использованием конструкции обделки из бесшовного монолитно-прессованного бетона. Это было сделано в общем контексте государственной кампании по снижению себестоимости строительства, так как при данном способе полностью исключено применение арматурной стали.

Успешная защита диссертации совпала по времени с разрушительным землетря-

сением в Ташкенте в 1966 г. В связи с необходимостью строительства нового города, перед ЦНИИСом, куда я был направлен на работу, Минтрансстроем ставился вопрос о научном обосновании строительства метро в этом городе. С учетом моих «ташкентских корней» (отец и мать в свое время жили в Ташкенте, а отец учился в горном институте у патриарха горного дела профессора М. М. Протождьяконова), я получил задание изучить проблему и принять участие в проектировании и строительстве местного метро.

Замечу, что начинать работу приходилось с нуля: ни нормативной документации, ни опыта на тот момент просто не имелось. В ЦНИИСе была создана специализированная лаборатория, руководить которой было доверено мне и где совместно с рядом научно-исследовательских и проектных институтов Москвы и Ташкента, прежде всего Метрогипротрансом, были разработаны нормативные документы для проектирования и научного обеспечения строительства метрополитенов в сейсмоопасных регионах и разработаны эффективные сейсмостойкие конструкции перегонных и станционных тоннелей.

Полученные для Ташкента решения пригодились в моей дальнейшей работе на БАМе, удостоенной государственной награды, на метрополитенах в Тбилиси, Ереване, Баку, Алма-Ате, Софии.

Результатом этих работ стала защита мною в 1983 г. докторской диссертации, а за комплекс работ по обоснованию сейсмостойкости Ташкентского метрополитена была присуждена Государственная премия Совета Министров СССР.

Параллельно с проблемами сейсмостойкости руководимая мной лаборатория исследовала проблему защиты городской застройки от динамического воздействия поездов метрополитена, что было актуально при прокладке линий метрополитена на мелком заложении в районах массовой жилой застройки.

По этому направлению совместно с НИИ оснований и подземных сооружений под моим научным руководством также впервые были созданы нормативные документы по проектированию.

Далее – лихие девяностые... Недостаточное финансирование исследований по проблематике динамики подземных сооружений, сокращение лаборатории и т. д.

Словом, в научном плане интересного и творческого было мало...

Но в 1993 г. с началом строительства подземного комплекса на Манежной площади (ныне торговый комплекс «Охотный Ряд»), расположенного внутри контура трех линий Московского метрополитена, я неожиданно получил приглашение от руководства института «Мосинжпроект» – генерального проектировщика объекта – перейти к ним работать на должность главного специалиста по проектированию сложных подземных сооружений.

**– Вы более 15 лет проработали в ГУП «Мосинжпроект». Какое направление Вашей деятельности в институте можно выделить как основное, определяющее?**

– Институт, ранее занимавшийся проектированием, в основном, подземных коммуникаций, приступил к проектированию сложных подземных комплексов и тоннелей, по существу, в новой для него отрасли. И здесь, как мне представляется, пригодился мой опыт в области проектирования и исследований подземного строительства.

С моим непосредственным участием был разработан концептуальный подход к проектированию подземных сооружений в условиях плотной городской застройки, основанный на первоочередном сооружении объемлющих будущий подземный комплекс коллекторов (для перекладки и строительства в них подземных коммуникаций как существующих, так и перспективных), позволявший ни на секунду не нарушать жизнеобеспечение города и «очистить» зону для возведения подземного пространства.

Коллективу института удалось внедрить данную оптимальную, безопасную и эффективную концепцию комплексного строительства при проектировании подземных сооружений.

Позволю себе дать небольшие комментарии. Я убежден, что определяющим этапом является проектирование и строительство не собственно подземных объектов, а инженерных систем, обслуживающих эти объекты. Сегодня ни для кого не секрет, что из общих затрат на строительство около половины, а то и больше сил и средств уходит на перекладку существующих и прокладку новых подземных коммуникаций.



Уже один этот факт заставляет тщательно подходить к проектированию и собственно перекладке многочисленных коммуникаций с учетом их реального состояния, перспектив развития в увязке с планами городского строительства.

Примерами разработанной концепции стало проектирование подземного комплекса и на площади Павелецкого вокзала, где сооружен объемлющий коллектор длиной более 500 м, позволивший полностью освободить около двух гектаров территории от подземных коммуникаций для возведения 5-ярусного подземного комплекса. Такая же картина с проектированием и строительством объемлющего коллектора на площади Белорусского вокзала, хотя время для строительства в этом месте подземного комплекса пока не пришло, а еще раньше при строительстве торгового комплекса «Охотный Ряд» под Манежной площадью.

**– Для решения глобальных комплексных задач, наверное, в структуре института были проведены изменения, не так ли?**

– Безусловно! Руководством Мосинжпроекта было принято решение о создании «института» комплексных ГИПов для решения в комплексе с учетом многообразия требований всех заинтересованных сторон. Жизнь доказала правильность такого решения.

**– Игорь Яковлевич, за относительно короткую историю российской государственности ГУП «Мосинжпроект» разработало немало ярких, уникальных проектов. Какие из них были реализованы с Вашим непосредственным участием?**

– Отвечая на Ваш вопрос, я нахожусь в несколько затруднительном положении. Мой вклад – только небольшая частица громадной работы института по проектированию инженерных сооружений.

Перечислю наиболее интересные и сложные объекты, где я принимал непосредственное участие в качестве Комплексного главного инженера проекта. Это уже упоминавшееся выше проектирование подземных комплексов на Манежной и Павелецкой площадях, Гагаринских автодорожного и железнодорожного тоннелей на трассе третьего транспортного автомобильного кольца (ТТК) и Лефортовского тоннеля открытого способа работ на внутренней стороне ТТК в Москве, где щитовой тоннель внешней стороны ТТК проектировал институт «Метрогипротранс».

**– В 2010 г. Вы перешли на работу в институт «Метрогипротранс». С чем это было связано?**

– Действительно, после моей достаточно длительной и интересной работы в Мосинжпроекте наступило «затишье» в проектировании крупных подземных транспортных тоннелей, в то время как в Москве предполагалась интенсификация проектирования метрополитена.

Руководством института «Метрогипротранс» – ведущей организации по проектированию метрополитенов в СССР и России, кстати, 1 июня отметившей 90-летний юбилей, мне было сделано соответствующее предложение перейти на работу в должности заместителя генерального директора – вице-президента по научной работе, на что я с удовлетворением согласился.

В институте был создан научно-исследовательский центр, научным руководителем которого я являлся, с целью обеспечения научно-технического сопровождения процесса проектирования, решения сложных расчетных задач, обеспечения экологической безопасности городской застройки от динамики метрополитена и др., что позволило надежно запроектировать большую часть Большой кольцевой линии (БКЛ) метрополитена в Москве.

По заданию Минрегиона РФ мне было поручено возглавить с участием ведущих сотрудников института и других организаций работу по созданию современного нормативного документа по проектированию метрополитена – «Свод правил. Метрополитены», учитывая, что процессом проектирования метрополитена стали заниматься проектные организации строительного профиля, ранее не имевшие подобного опыта.

Нормативный документ был разработан, и утвержден в 2012 г. Минрегионом РФ, а через 10 лет в 2022 г. этот документ был актуализирован и утвержден уже вновь созданным Минстроем РФ, где я также являлся одним из научных руководителей разработки, и сегодня ей активно пользуются проектные, строительные и эксплуатирующие организации.

В этом «Своде правил. Метрополитены», впервые, в отличие от ранее использовавшихся, начиная с 50-х годов прошлого столетия, различных по назначению выпусков СНиПов, в едином документе прописаны исчерпывающие нормативные требования на всех стадиях создания метрополитена, начиная с изысканий, трассирования, разработки объемно-планировочных и конструктивных решений, при проектировании станций, перегонных и эскалаторных тоннелей, при проектировании систем управления движением поездов, систем вентиляции, отопления, энергоснабжения, водоотлива, пожаробезопасности, требований на стадии строительства, на этапах монтажа и наладки электромеханического и сантехнического оборудо-

вания, устройства пути, систем безопасности, возможности пользования метрополитеном маломобильными группами населения и, наконец, кончая стадией приемки в эксплуатацию всего комплекса метрополитена.

**– Игорь Яковлевич, Вы известный специалист в области подземного строительства. Как используются Ваши знания и опыт в научно-общественной деятельности?**

– Мне была оказана честь многие годы быть членом президиума и правления Тоннельной ассоциации России. Новым руководством Стройкомплекса Москвы я введен в состав Научно-технического совета по проектированию метрополитенов, а руководством Минстроя РФ – в состав нескольких Технических комитетов по строительству и проектированию. Добавлю, что многие годы руководил подготовкой аспирантов, вел преподавательскую работу в МИИТе, Институте повышения квалификации Минтрансстроя СССР, МИСИ, в настоящее время являюсь председателем Квалификационной комиссии по аттестации аспирантов в МИИТе, заместителем председателя редакционной коллегии журнала «Метро и тоннели».

**– Ваш творческий вклад в дело освоения подземного пространства по достоинству оценен государством и коллегами. В этой связи интересно было бы узнать Ваше мнение относительно оценки собственной деятельности. Что для Вас наиболее значимо?**

– В результате деятельности специалистов, так или иначе связанных со строительством, потомкам остаются возведенные сооружения и опыт в виде публикаций. К сожалению, в наше время писать и издавать книги стало занятием неблагодарным, а ведь содержащийся на их страницах опыт может и должен быть использован следующими поколениями как некий фундамент.

Мной написаны и изданы четыре монографии в области сейсмостойкости и динамики подземных сооружений, опубликовано более 150 научных работ, получено около 20 авторских свидетельств и патентов в области подземного строительства, которые являются результатом многолетнего труда. Я счастлив, что могу принести пользу, передать свой опыт следующим поколениям.

И последнее. Надеюсь, что 85 лет не предел для творческой работы, а творческая атмосфера и особая «аура», созданная руководством Тоннельной ассоциации России, позволит мне продолжать вносить посильный вклад в общий успех.



Автор интервью Е. М. Иолкина,  
Тоннельная ассоциация России





**3 июня 2023 г. исполнилось 80 лет ученому секретарю Тоннельной ассоциации России Владимиру Валентиновичу Внутских.**

Инженерную творческую деятельность выпускник Московского автомобильно-дорожного института начал в ПКБ Главстроймеханизации Министерства транспортного строительства, где как ведущий конструктор занимался разработкой средств механизации, применяемых в транспортном строительстве, отмеченных многими свидетельствами на изобретение. В 1972 г. Владимир Валентинович, перейдя на работу в Минтрансстрой, в Главное техническое управление, активно участвовал в организации производственной кооперации с фирмами зарубежных стран, в том числе по изготовлению новой техники – автобетоносмесителей, обсадных труб, малогабаритных погрузчиков, стальной фибры, а в дальнейшем, работая в Управлении внешних связей Минтрансстроя в должности заместителя начальника Управления и Отдела внешних связей ОАО Корпорации «Трансстрой», способствовал успешной организации научно-технического сотрудничества с фирмами зарубежных стран, международными

общественными организациями в области транспортного строительства.

Заслугой юбиляра стало внедрение компьютеризации аппарата Корпорации «Трансстрой».

С 2009 г. по настоящее время Владимир Валентинович – бессменный учёный секретарь правления Тоннельной ассоциации России, член правления и президиума правления ТАР, член Научно-технического экспертного совета ТАР и редколлегии журнала «Метро и тоннели».

***Поздравляя Владимира Валентиновича с юбилеем, желаем ему неиссякаемой энергии, доброго здоровья и продолжения плодотворной деятельности!***

*Правление Тоннельной ассоциации России*



**16 мая 2023 г. исполнилось 85 лет почётному деятелю науки и техники г. Москвы, доктору технических наук Владимиру Александровичу Гарберу.**

Окончив в 1960 г. МИИТ по специальности «Тоннели и метрополитены», Владимир Александрович работал на подземных стройках России и строительстве метрополитена в Москве. После поступления в аспирантуру и защиты диссертации он более 50 лет по настоящее время работает в ЦНИИСе, пройдя все научные ступени от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией и главного научного сотрудника института.

Его научные исследования включают решение широкого спектра проблем метростроения: от разработки научных основ проектирования тоннельных конструкций с учетом технологии их сооружения до разработки защитных мероприятий, обеспечивающих сохранность метрополитена при развитии городской инфраструктуры в зоне действующих и проектируемых линий метрополитена.

Заслуги В. А. Гарбера в области подземного строительства по достоинству оценены – ему присвоены звания почётного строителя РФ и почётного

транспортного строителя РФ.

Владимир Александрович принимает активное участие в работе Тоннельной ассоциации России, являясь ее почётным членом и автором многих научно-технических статей в журнале «Метро и тоннели».

***Поздравляем Владимира Александровича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, духовной бодрости и дальнейших успехов в нашем общем деле.***

*Правление Тоннельной ассоциации России*





**30 мая 2023 г. исполнилось 70 лет со дня рождения крупнейшего специалиста в области подземного строительства Георгия Васильевича Макаревича.**

Георгий Васильевич – ветеран метростроения, прошедший за 40-летнюю производственную деятельность путь от сменного инженера на подземных работах Тоннельного отряда № 6, после окончания МИИТа в 1975 г., до генерального директора этого прославленного коллектива.

Деятельность Георгия Васильевича по достоинству оценена Родиной.

За строительство Люблинско-Дмитровской линии Московского метрополитена он был награжден Орденом Почета, ему присвоено звание «Заслуженный строитель РСФСР», а за заслуги в развитии топливно-энергетического комплекса награжден знаком «Шахтерская слава III степени», многократно награжден медалями ВДНХ, как лучший рационализатор Москвы.

*Тоннельная ассоциация России сердечно поздравляет Георгия Васильевича с юбилеем, желает ему крепкого здоровья, активного творческого долголетия.*



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
МЕТРОГИПРОТРАНС

## 1 ИЮНЯ 2023 г. ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬНОМУ ИНСТИТУТУ «МЕТРОГИПРОТРАНС» ИСПОЛНИЛОСЬ 90 ЛЕТ

Созданная в 1933 г. Центральная проектная контора «Метропроект» выполнила славную функцию одного из основоположников новой для нашей страны отрасли – метростроения, и разработала проекты лучшего в мире метрополитена – Московского.

За прошедшие годы этот стартовый коллектив проектировщиков вырос в крупный, высококвалифицированный, всемирно известный институт АО «Метрогипротранс».

В послужном списке института десятки линий и сотни станций метро в Москве, других городах нашей страны и зарубежных стран.

Самые прогрессивные технические решения, уникальные архитектурные композиции, ответственность и товарищеская взаимопомощь – вот фирменный стиль работы Метрогипротранса. Метрогипротрансом были созданы филиалы в ряде других городов. Многие из них стали самостоятельными, весьма авторитетными проектными институтами, но все они безоговорочно признают лидерскую роль Метрогипротранса как флагмана проектирования подземных сооружений в нашей стране.

В настоящее время страна бурно развивается. У Метрогипротранса много работы, впереди новые трудовые достижения.

Многие годы руководители Метрогипротранса принимали и принимают участие в работе правления Тоннельной ассоциации России, а сотрудники института активно участвуют в конференциях, конкурсах, круглых столах по рассмотрению наиболее актуальных проблем метро- и тоннелестроения.

Тоннельная ассоциация России от всей души поздравляет руководство, трудовой коллектив, ветеранов АО «Метрогипротранс» с юбилеем и надеется на продолжение творческих связей в дальнейшем.



# СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО ДУССЕ-АЛИНСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТОННЕЛЯ

## CONSTRUCTION OF THE NEW DUSSE-ALINSKY RAILWAY TUNNEL

В. И. Рындыч, С. В. Плеханов, Р. В. Галунина, АО «Бамтоннельстрой-Мост»

V. I. Ryndych, S. V. Plekhanov, R. V. Galunina, JSC «Bamtonnelstroy-Most»

В 2020 г. в рамках инвестиционной программы ОАО «РЖД» началось строительство однопутного железнодорожного тоннеля на участке Ургал – Комсомольск-на-Амуре Байкало-Амурской магистрали Дальневосточной железной дороги. Новый железнодорожный тоннель располагается рядом с построенным в 1939–1982 гг. однопутным Дуссе-Алинским тоннелем слева по ходу километров на расстоянии по осям тоннелей от 32 до 29 м. Объект запроектирован Сибирским институтом по проектированию инженерных сооружений и промышленных предприятий путевого хозяйства и геологическим изысканиям «Сибгипротранспут» – филиалом АО «Росжелдорпроект». Автором проекта на сооружение тоннеля является Проектно-изыскательский институт ООО «Бамтоннельпроект».

Генеральный подрядчик строительства – АО «Строй-Трест» – дочерняя компания АО «Бамтоннельстрой-Мост».

*In 2020, within the framework of the investment program of JSC Russian Railways, construction of a single-track railway tunnel on the section Urgal – Komsomolsk-on-Amur of the Baikal-Amur trunk railway of the Far Eastern Railway began. The new railway tunnel is located next to the single-track Dusse-Alinsky tunnel built in 1939–1982, on the left along the course of kilometers at a distance along the axes of the tunnels from 32 to 29 m.*

*The object is designed by the Siberian Institute for the Design of Engineering Structures and Industrial Enterprises of the Track Facilities and Geological Research «Sibgiprotransput» – the branch of JSC «Roszheldorproekt». The author of the project for the construction of the tunnel is the Design and Survey Institute LLC «Bamtonnelproekt». The general contractor for the construction is Stroy-Trest JSC, a subsidiary of Bamtonnelstroy-Most JSC.*

Существующий однопутный железнодорожный Дуссе-Алинский тоннель расположен в Верхнебуреинском районе Хабаровского края на 3382–3384 км участка Ургал – Комсомольск-на-Амуре Байкало-Амурской магистрали Дальневосточной железной дороги и проложен в массиве скальных грунтов Буреинского хребта.

Существующий тоннель протяженностью 1807 м был построен в 1939–1982 гг. с периодическими консервациями ввиду военной и политической обстановки (1942 г, 1950 г, 1953 г).

Путь в тоннеле – звеньевой, на деревянных и железобетонных шпалах, на щебеночном балласте с рельсами Р-65.

Суровые климатические условия района негативно повлияли на техническое состояние существующего тоннеля в связи с тем, что тоннельная обделка выполнена без армирования и гидроизоляции.

Необходимость строительства нового тоннеля обусловлена продолжающимся ростом грузовых перевозок в восточном направлении и ухудшающимся состоянием существующего тоннеля. После ввода в эксплуатацию нового сооружения и переключения на него движения поездов предполагается ремонт существующего тоннеля с переоборудованием его в эвакуационное сооружение. Новое строительство позволит ликвидировать барьер-



ный участок и обеспечит увеличение скорости и безопасности движения поездов.

Строящийся Дуссе-Алинский тоннель длиной 1824 м запроектирован параллельно существующему слева (по ходу километров) с учетом соблюдения минимального расстояния между осями путей с существующим тоннелем – 29 м.

Путь в новом тоннеле – безбалластная конструкция на железобетонных рамах с

рельсовыми плетями из рельсов Р-65 (бесстыковой путь).

Строительство ведется двумя встречными забоями (со стороны Западного и Восточного порталов) в многолетнемерзлых грунтах. За всю историю строительства тоннелей АО «Бамтоннельстрой-Мост» лишь второй раз осуществляет производство работ в условиях вечной мерзлоты (в аналогичных условиях сооружался Кодарский тоннель). Также



проектирование и строительство осложнено наличием зон повышенной трещиноватости и повышенной сейсмичностью района.

Пересекаемый Буреинский хребет сложен интрузивными образованиями, представленными гранитами и диоритами Тырмо-буреинского интрузивного комплекса габбро-гранодиорит-гранитового. На всем протяжении трассы тоннеля коренные породы перекрыты рыхлыми четвертичными делювиальными отложениями, коэффициент крепости по шкале проф. Протодьяконова  $f = 1,3-12,1$ .

С целью обеспечения безопасности работ при врезке и дальнейшей проходке со стороны Западного и Восточного порталов в сводовой части врезных участков тоннеля выполнены укрепительные мероприятия с устройством защитных экранов из труб длиной 30 м. Бурение скважин защитного экрана осуществлялось универсальной тоннельной установкой МУКИ FF. Укрепительная цементация надсводового массива грунтов при сооружении защитного экрана из труб осуществлялась с использованием миксерной станции Вихрь СМ-40/90, укомплектованной смесительной установкой и трехплунжерным инъекционным насосом НБЗ-120/40 для приготовления и нагнетания цементных растворов.

В зависимости от инженерно-геологических и горнотехнических условий проходка тоннеля осуществляется буровзрывным способом с разработкой грунта в забое как на полное сечение, так и способом короткого уступа с раздельным взрыванием опережающей верхней части тоннеля (калотта) и последующей нижней части тоннеля (штрасса).

Доработка сечения забоя выполняется тоннельным экскаватором Liebherr R944CT Litronic.

Отгрузка разработанной породы предусматривается погрузочно-доставочными машинами Sandvik LH410 и Kamach WJ-4.5 в подземные автопоезда МоАЗ 74051-9586.

Бурение забойных шпуров, а также шпуров под анкера временной крепи и опережающее анкерное крепление ведется самоходными буровыми установками Atlas Copco BOOMER 282 и Atlas Copco Boomer XE3 C, Nuatai Mining.

Разведочное бурение на длину 140–150 м для исключения возникновения нештатных и аварийных ситуаций осуществляется буровой станцией Atlas Copco Diames 262/1800.

Монтаж двутавровых арок и арматурных арок временной крепи ведется самоходным аркоустановщиком Normet Utilift 2000 BAQ NIP.

Для крепления выработок нарызг-бетонном применяются торкрет-установки Jason Roboshot Midget MK4, Normet Spraymec 7110 WPC, Lasparsan LPS ADEPT-523, Adroit 450 H/W. Укладка бетона на участках тоннеля с аркобетонной временной крепью осуществляется бетононасосом CIFA PC 506/309.

Устройство монолитной постоянной обделки свода и стен тоннеля выполняется двумя встречными участками работ в направлении от Западного (ПК33813+85,00) и Восточного (ПК33833+39,00) порталов до



Установка анкеров



ПК33823+80,00. Для сооружения обделки применяется два комплекта передвижных механизированных опалубок Saga-Cogio.

Для устройства пленочной гидроизоляции, монтажа арматурных каркасов постоянной обделки и производства работ по контрольному нагнетанию цементного раствора за обделку применяются технологические тележки порталного типа на рельсовом ходу.

После устройства постоянной обделки свода и стен производятся работы по гидроизоляции, армированию и бетонированию обратного свода тоннеля (захватками от 24 м и более). Доставка бетона в тоннель производится автобетоносмесителями Transmix-3000, Transmix-5000. После окончания работ по обратному своду укладывается верхнее строение пути.

В процессе проходки тоннеля разрабатываются предусмотренные проектом внутритоннельные выработки вспомогательного назначения, в числе которых путевые камеры и людские ниши, расположенные с обеих сторон по всей длине тоннеля в шахматном порядке с шагом 60 м по каждой стороне, а также шесть эвакуационных сбоек с действующим тоннелем, расположенных по всей длине тоннеля с шагом 300 м.

Проходка каждой эвакуационной сбойки на основной длине выработки осуществляется со стороны нового тоннеля и ведется до границы с породным целиком мощностью 1,0 м. Дальнейшая проходка сбойки будет производиться со стороны эксплуатируемого тоннеля при остановленном движении поездов по перегону в режиме утвержденного графика предоставления технологических «окон».

Водоотведение в строящемся тоннеле осуществляется по водоотводным лоткам через сооружаемые сбоек со сбросом воды в существующий коллектор. Необходимо отметить, что существующий коллектор в ходе строительства подлежит реконструкции.

В новом Дуссе-Алинском тоннеле запроектирована принудительная система вентиляции. В зоне Западного и Восточного порталов сооружаются вентиляционные камеры длиной по 15 м каждая.

Электроснабжение участка строительства осуществляется при помощи сооруженной

электрической подстанции. В дальнейшем указанная подстанция будет использоваться для энергообеспечения сооружаемых городков для будущих эксплуатирующих организаций (дистанция пути ПЧ, Ведомственная (военнослужащая) охрана железнодорожного транспорта ВОХР и т. д.).

После ввода в эксплуатацию нового сооружения и переключения на него движения поездов существующий тоннель будет реконструирован и переоборудован в эвакуационное сооружение. Существующие внутритоннельные сооружения подлежат забутке. Также будет выполнен ремонт существующего вентиляционного ствола с перспективным использованием его для проветривания в случае нештатных ситуаций в период эксплуатации тоннеля.

Помимо строящегося тоннеля в настоящее время на участке Ургал – Комсомольск-на-Амуре сооружаются мост длиной около 80 м со стороны Западного портала Дуссе-Алинского тоннеля, перепускные трубы с укладкой двухочковой железобетонной трубы со стороны Восточного портала и три подпорные стены.

Ввод нового сооружения в эксплуатацию обеспечит бесперебойную поставку грузов и увеличит пропускную способность участка Ургал – Комсомольск-на-Амуре Байкало-Амурской магистрали Дальневосточной железной дороги, с увеличением пропускной способности Дуссе-Алинского тоннеля до 25 пар поездов в сутки вместо нынешних 17 пар поездов.

### Ключевые слова

Тоннель, строительство, железнодорожный транспорт, проходка, ремонт, реконструкция, рост грузовых перевозок, увеличение пропускной способности.

*Tunnel, construction, railway transport, tunneling, repair, reconstruction, growth in freight traffic, capacity increase in throughput.*

### Для связи с авторами

Рындыч Виктор Иванович  
RyndychVI@btsmost.ru  
Плеханов Сергей Викторович  
PlekhanovSV@btsmost.ru  
Галунина Руслана Валерьевна  
GaluninaRV@btsmost.ru



## В БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ МОСКВА ПОЕДЕТ БЫСТРЕЕ



**Осенью 2021 г. правительство Москвы утвердило Адресную инвестиционную программу (АИП) на 2022–2024 гг. Развитие транспортной инфраструктуры является крупнейшим разделом АИП как по объему затрачиваемых средств, так и по ожидаемым результатам. В 2022–2024 гг. планируется ввести в эксплуатацию 285,6 км дорог, 89 искусственных сооружений и 50 пешеходных переходов.**

**Ю**го-Восточная хорда (ЮВХ) – одна из четырех хордовых трасс Москвы, которая возводится сегодня, согласно АИП. Вместе с Северо-Западной (СЗХ) и Северо-Восточной (СВХ) хордами и Южной рокадой (ЮР) они образуют новую систему скоростных дорожных магистралей города, которые будут увязаны между собой и свяжут периферийные районы столицы. Проект призван кардинально изменить ситуацию на столичных дорогах и улучшить экологию и связанность городских территорий.

### Юго-Восточная хорда. Тоннели

Юго-Восточная хорда пройдет через десять районов Москвы, четыре округа – Восточный, Юго-Восточный, Южный и Юго-Западный, пересечет пять автомобильных магистралей (включая самые загруженные дороги – Рязанский и Волгоградский проспекты, Каширское шоссе). Хорда выйдет на автомобильную трассу федерального значения М-7 «Волга» и соединится с Новой Москвой. ЮВХ обеспечит дополнительную поперечную связь между вылетными магистралями и позволит перераспределить транспортные потоки в срединной и периферийной зонах в обход центральной части города. ЮВХ

улучшит транспортное обслуживание жителей 22 районов Москвы, где проживает порядка 2,5 млн человек. Начало реализации проекта – 2019 г., длина хорды – 96 км.

В рамках сооружения Юго-Восточной хорды предполагается строительство таких объектов, как развязки в разных уровнях через пути Курского направления Московской железной дороги; развязки в разных уровнях через Казанское и Горьковское направления МЖД на участке от шоссе Энтузиастов до Рязанского проспекта; развязки в разных уровнях с переустройством инженерных сетей и коммуникаций, с реконструкцией/строительством улично-дорожной сети на участке от улицы Грайвороновская до улицы Полбина; развязки в разных уровнях с переустройством инженерных сетей и коммуникаций, реконструкцией и строительством улично-дорожной сети на участке от улицы Полбина до Курьяновского бульвара; мост через Москву-реку и развязку в разных уровнях на Каширском шоссе (на участке от улицы Каспийская до улицы Шоссейная). С учетом планируемого строительства участков другой хордовой магистрали – Южной рокады – от Балаклавского до Пролетарского проспекта и от Пролетар-

ского проспекта до улицы Каспийская появится замкнутый транспортный контур. На него выйдет участок магистрали от Кантемировской улицы до транспортной развязки на пересечении улицы Поляны с МКАД. В его состав входит отрезок ЮВХ от Павелецкого направления МЖД до МКАД.

Строительство Юго-Восточной хорды ведется участками:

- от шоссе Энтузиастов до Рязанского проспекта;
- соединяющий участок Рязанский проспект – Третье транспортное кольцо;
- от улицы Грайвороновская до улицы Шоссейная;
- от улицы Шоссейной до улицы Полбина;
- от улицы Полбина до Курьяновского бульвара;
- от Курьяновского бульвара до улицы Кантемировская;
- вдоль улицы Каспийской от Кантемировской улицы до Павелецкого направления МЖД;
- от улицы Маршала Шестопалова до Павелецкого направления МЖД;
- от Павелецкого направления МЖД до МКАД с транспортной развязкой на пересечении МКАД с ЮВХ;



• от МКАД до автомобильной дороги «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе».

В составе Юго-Восточной хорды будут построены 55 искусственных сооружений, включая тоннели, и 11 пешеходных переходов. В том числе, тоннели будут построены на участках ЮВХ-7 (вдоль ул. Каспийская от ул. Кантемировская до Павелецкого направления МЖД), ЮВХ-9 (от Павелецкого направления МЖД до МКАД) и ЮВХ-10 (от МКАД до автодороги «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе»).

### Тоннель участка вдоль ул. Каспийская от ул. Кантемировская до Павелецкого направления МЖД

Общая протяженность участка вдоль ул. Каспийская от ул. Кантемировская до Павелецкого направления МЖД (так называемый участок ЮВХ-7) – 5,5 км, в него войдут пять путепроводов (889 м), тоннель под съездом с Царицынского моста со стороны ул. Бакинская (33 м), мост (75 м). Строительство тоннеля планируется выполнить миланским способом с устройством буронабивных свай и последующим возведением монолитных железобетонных стен. В настоящее время ведется проектирование объекта.

Миланский способ является наиболее распространенным методом строительства тоннелей, когда строители возводят стены тоннеля и укладывают перекрытия, по которым сразу же восстанавливается автомобильное движение. А защищенные «крышей» перекрытия строители достраивают тоннель, не мешая движению на поверхности.

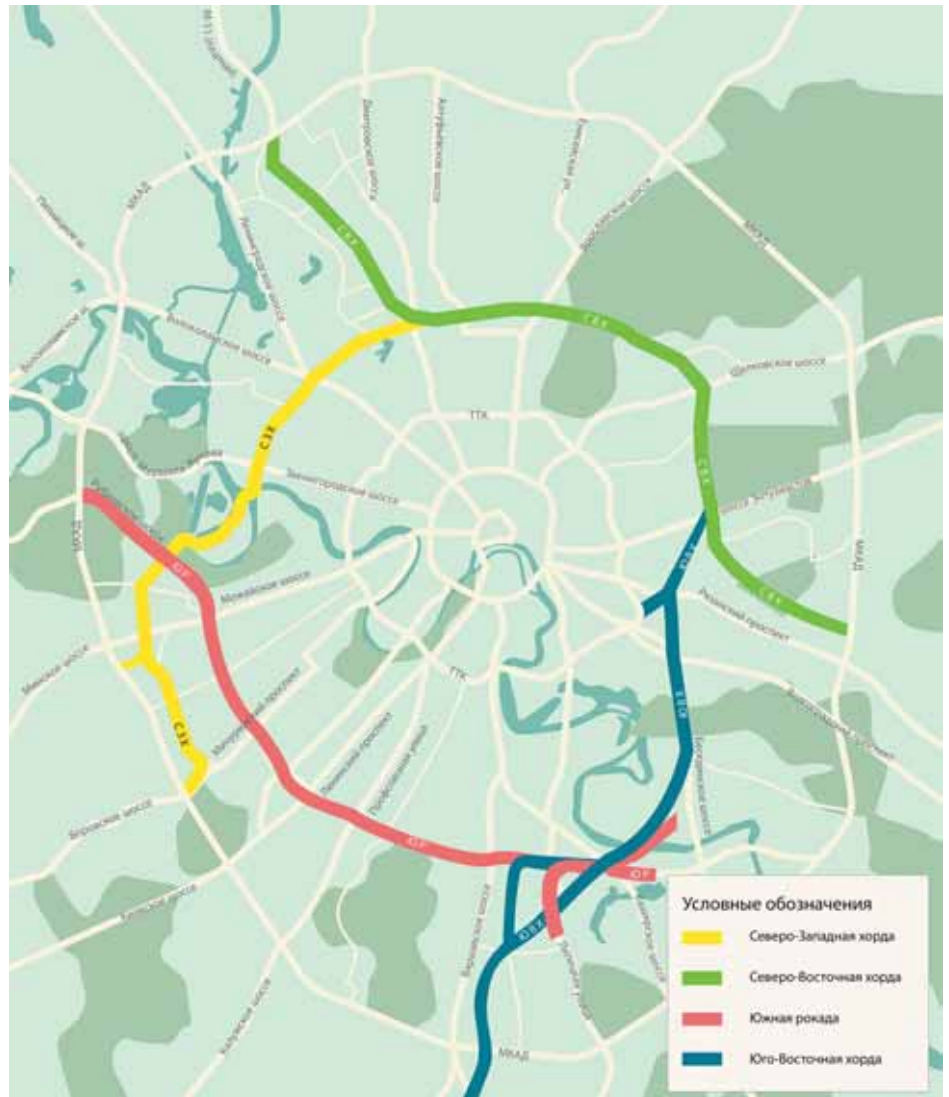
Срок окончания строительства участка в соответствии с АИП – до 2025 г.

### Тоннель участка от Павелецкого направления МЖД до МКАД

Общая протяженность участка ЮВХ-9 – 11,2 км, в том числе эстакада (1,2 км), тоннель (46 м), путепровод (301 м), шумозащитные экраны – 844 м. Тоннель станет соединительным звеном между двумя участками Юго-Восточной хорды, обогатит транспортную доступность районов Бирюлево Западное и Царицыно.

Для оптимизации строительства участка ЮВХ от Павелецкого направления до МКАД подрядчик применил различный подход к частям инженерных сооружений. На участке, где рельеф и плотность застройки не вызывают сложностей, пролетное строение состоит из железобетонных преднапряженных балок. Пролет над железнодорожными путями предусмотрен из металла с ортотропной плитой. Третий участок осложнен геометрией: применение на нем пролетного строения из монолитного железобетона плитно-ребристой конструкции обусловлено расположением сразу в одном месте съезда и выезда основного хода Юго-Восточной хорды.

В настоящее время завершены работы по открытой части тоннеля и устройству защитного экрана из труб и креплению стартового и приемных котлованов. Производятся работы по армированию и бетонированию пор-



тальных рам и подпорных стенок. Срок окончания строительства – IV кв. 2023 г.

### Тоннели участка от МКАД до автодороги «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе»

Общая протяженность участка – 11,2 км, в том числе эстакада (640 м), два тоннеля (231 м), мост (135 м), три путепровода (1,3 км), три надземных пешеходных перехода, шумозащитные экраны – 2080 м. Как сообщается на официальном сайте мэра Москвы, участок Московского скоростного диаметра готов на четверть. Завершить работы планируется в IV кв. 2023 г.

«В настоящее время ведутся работы по строительству лево-поворотного съезда с МКАД на МСД, тоннеля под МКАД и Симферопольским шоссе, моста через реку Битцу, эстакады через

проектируемый проезд в жилой застройке «Битца», а также эстакады через Варшавское шоссе и Курское направление МЖД», – сообщил руководитель Департамента строительства города Москвы Рафик Загрутдинов.

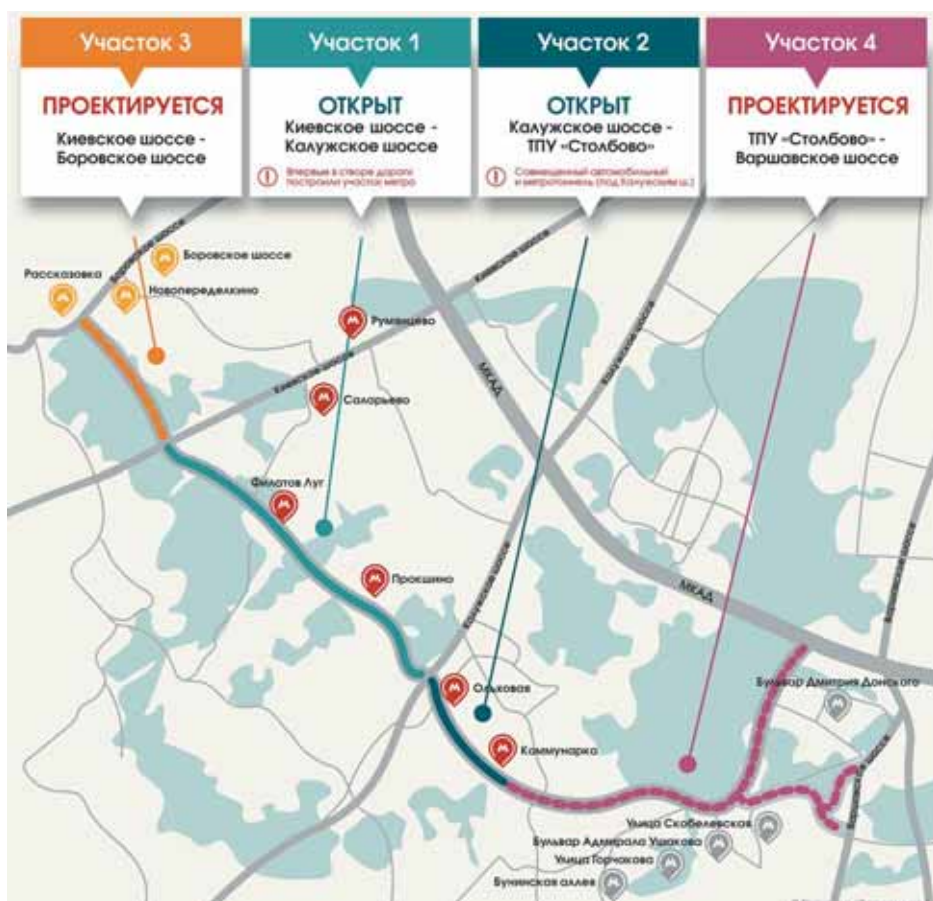
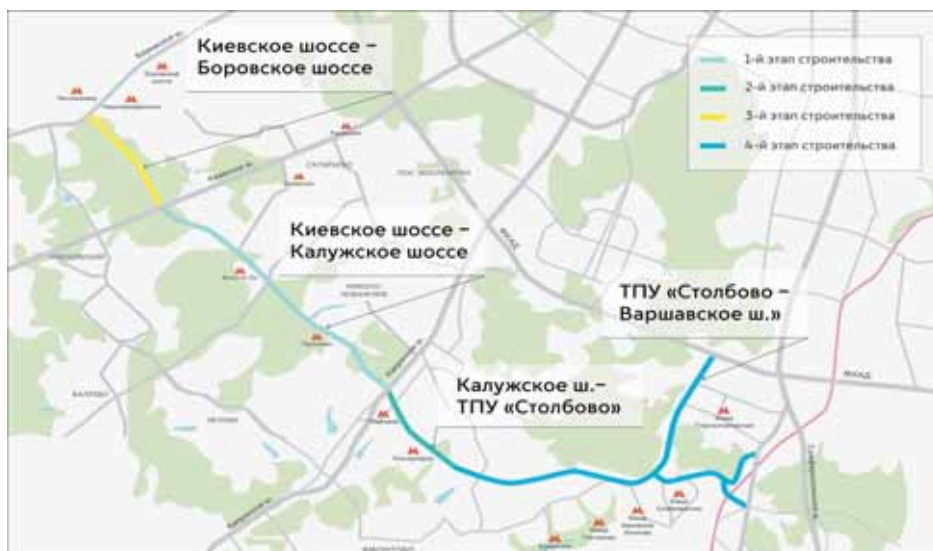
### Тоннель под МКАД

Тоннель строят от МКАД до автомобильной дороги «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе» в рамках южного участка Московского скоростного диаметра.

В настоящее время завершены работы по устройству СВСиУ (временного крепления тоннеля из труб), выполняются работы по торкретированию трех поперечных штолен тоннеля и устройству гидроизоляции тоннеля.







Тоннель строится без ограничения движения по МКАД.

### Тоннель под Симферопольским шоссе в составе ЮВХ

Протяженность тоннеля – 128,1 м. В настоящее время выполнены работы по устройству буросекущихся свай ограждения стен тоннеля, половины перекрытия тоннеля под Симферопольским шоссе и устройство временной объездной дороги второго этапа. Ведутся работы по устройству оставшихся буросекущихся свай.

Работы по строительству тоннеля выполняются двумя захватками миланским способом. Этот тоннель в составе ЮВХ обеспечит свободное движение автотранспорта по хорде без создания стесненного движения по Симферопольскому шоссе.

### Тоннели автомагистрали «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе»

Сегодня в Новой Москве строится новая автомагистраль «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе». Она обеспечит поперечную связь между районами и станет полноценным дублером МКАД на юго-западе столицы.

Длина трассы по прямому ходу составит 22,5 км, общая протяженность новых дорог с учётом развязок – около 92 км. В ее составе будут построены 23 искусственных сооружения, в том числе 5 тоннелей. Срок реализации – 2026 г.

### Тоннели участка от Боровского до Киевского шоссе на автодороге «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе»

Начало строительства – февраль 2021 г., окончание – декабрь 2023 г. Здесь планируется построить и реконструировать 9,1 км дорог. В том числе здесь построят эстакаду над Боровским шоссе (242 м), тоннель под Киевским шоссе (50 м), путепровод и два подземных пешеходных перехода.

Протяженность тоннеля – 50 м. В настоящее время ведутся отделочные работы и работы по устройству фасада, выполняется прокладка кабельных линий и монтаж оборудования.

При сооружении основного конструктива данного тоннеля использовался миланский метод: по захваткам были выполнены стены тон-





неля и устроена плита перекрытия. Таким образом, движение автотранспорта по Киевскому шоссе не перекрывалось, были выполнены перепуски движения, согласно производимым захваткам. В тоннеле предусмотрена организация шестиполосного движения автотранспорта, по три полосы в каждом направлении.

### Тоннели участка от ул. Поляны до Варшавского шоссе на автомагистрали «Солнцево – Бутово – Варшавское шоссе»

В результате строительства этого участка увеличится пропускная способность Варшавского и Симферопольского шоссе, а также МКАД за счет создания новой транспортной связи на данном участке; появится комфортный выезд с Варшавского шоссе в сторону Калужского и Киевского шоссе; улучшится транспортная доступность районов Южное Бутово и Северное Бутово ЮЗАО г. Москвы, а также сельского поселения Булатниковское Московской области.

В настоящее время этот участок находится в проектировании. Здесь планируется построить и реконструировать 10,8 км дорог.

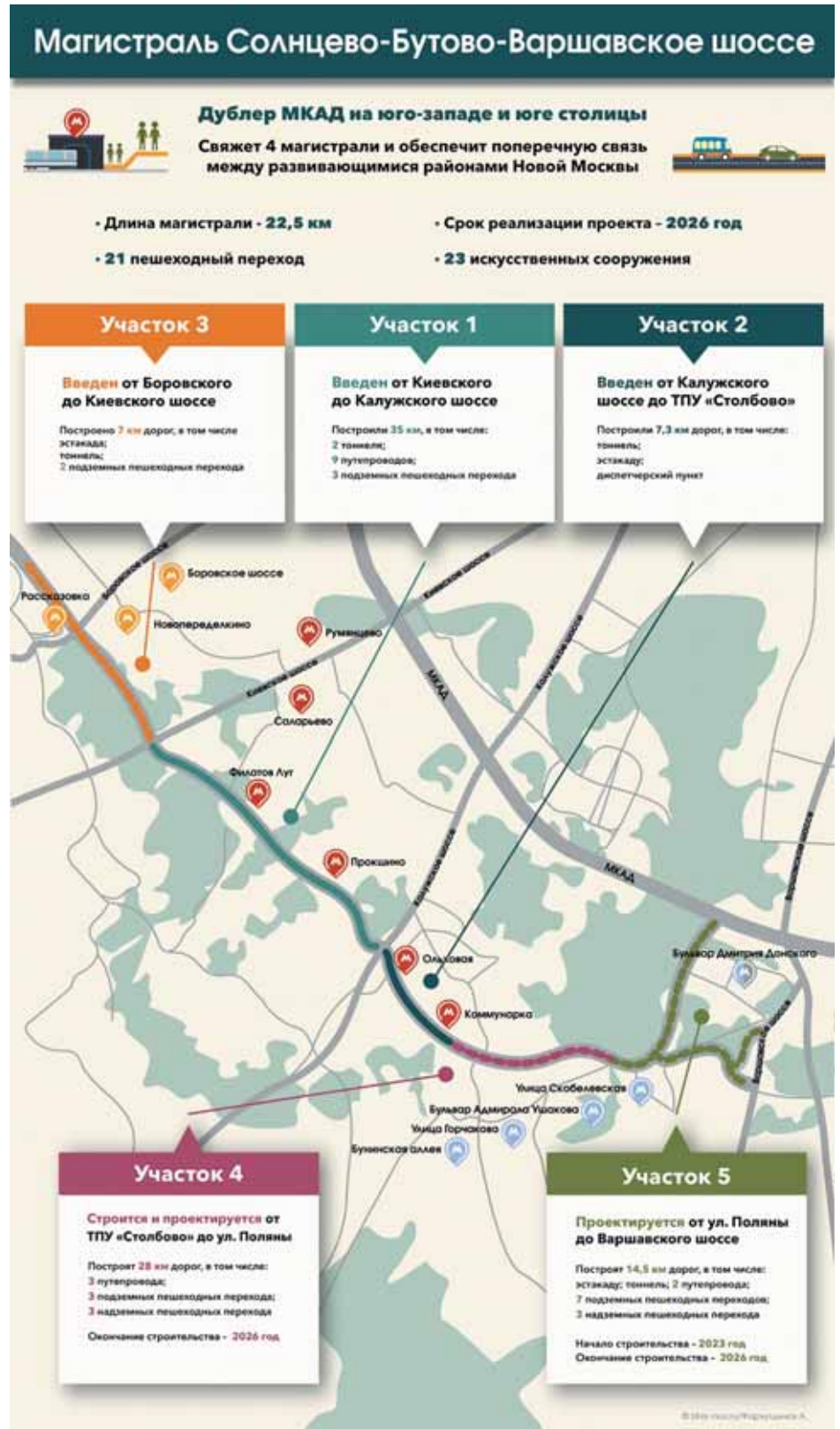
В составе участка будет построен один тоннель протяженностью 730 м. Путепровод тоннельного типа устраивается отдельно под каждое направление движения и условно разделен на правый и левый тоннель. Эти конструкции, по своей статической схеме, являются независимыми друг от друга. Длина закрытой части путепровода тоннельного типа по осям проездов составляет 46,3 м. Минимальный высотный габарит составляет 5,25 м. Ширина проезжей части правого тоннеля – 17 м, левого – 13,25 м.

Срок реализации в соответствии с АИП – до 2026 г.

### Тоннель под трассой М-4 «Дон» с внешней стороны МКАД на ул. Липецкая

В рамках реконструкции транспортной развязки на пересечении МКАД с Липецкой улицей возведут семь путепроводов, один тоннель и четыре пешеходных перехода. «На пересечении МКАД с улицей Липецкая предстоит построить и реконструировать почти 10 км дорог. Обновленная развязка разгрузит прилегающие дороги, которые сейчас используются в качестве альтернативных маршрутов объезда. Благодаря этому значительно улучшится дорожная ситуация для жителей районов Бирюлёво, Царицыно и Ленинского округа Подмосковья», – отметил заместитель мэра Москвы в правительстве Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства Андрей Бочкарёв.

Глава Строительного комплекса Москвы рассказал, что проектом предусмотрено строительство одного тоннеля с внешней стороны МКАД на Липецкую улицу под трассой М-4 «Дон». Ведутся работы по армированию лотковой части и подготовка к бетонированию первой захватки основания тоннеля. Строительство тоннеля осуществляется милянским способом. В состав тоннеля входит семь автоматизированных инженерных систем.



По материалам издания «Приоритетные проекты метро и тоннелестроения России 2022–2023 гг.»

(автор текста Н. В. Алхимова, ООО «Гидротехника XXI век», при участии В. А. Митрофанова, Тоннельная ассоциация России)

## НОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ САМАРСКОГО МЕТРО



Город Самара вытянут вдоль рек Волга и Самара на многие километры. Поэтому для самарцев поездка в исторический центр города без необходимости – это всегда большой вопрос. Ведь многочисленные транспортные пробки и толкучка в автобусах и трамваях удовольствия поездке не добавляют. Ситуацию могла бы спасти развитая сеть метро. Представьте, что через весь город можно было бы проехать быстро и без пробок! Но сейчас городская подземка включает в себя всего десять станций и не охватывает даже полгорода. До прошлого года ситуация не менялась, так как строительство метро – задача для областного, а тем более для городского бюджета непосильная.

Все изменилось осенью 2021 г., когда правительство приняло решение о выделении Самаре бюджетного кредита на строительство метро в размере 10,4 млрд рублей.

### Инфраструктурный бюджетный кредит

30 сентября 2021 г. правительственная комиссия по региональному развитию одобрила выделение инфраструктурного кредита Самарской области. Деньги предоставлены на завершение строительства первой линии метро в столице региона. Самарские проекты на заседании президиума комиссии представлял губернатор Дмитрий Азаров. По его словам, поначалу речь шла о сумме в 10 млрд рублей. Но по итогам обсуждения самарцам добавили денег.

Инфраструктурный бюджетный кредит имеет срок до 15 лет и выдается под 3 % годовых. Такое финансирование получили регионы России для создания проектов, которые помогли бы развитию образования, на-

уки и экономики, а также сделали бы регионы более привлекательными для инвесторов и создания новых рабочих мест. Основные условия получения кредита – у региона должен быть проект, прошедший тщательную экспертизу и одобренный правительственной комиссией по региональному развитию, а также отсутствовать региональная задолженность выше 50 %.

### Станция «Театральная»

В Самаре на выделенные деньги в рамках комплексного развития территорий будет построена станция «Театральная». Ее появление позволит решить вопрос эффективной перевозки 3,5 млн пассажиров в год из быстро растущих промышленных районов горо-

да и завершить строительство первой линии Самарского метрополитена. Кроме того, новая станция снимет существующие технологические ограничения и обеспечит сокращение интервала движения поездов с нынешних 15 до 5 мин. «Планируем, что в 2024 г. строительство первой линии метрополитена будет полностью завершено», – сказал Дмитрий Азаров.

Следует отметить, что власти Самарской области также выделяют, сколько могут, на развитие метрополитена. В 2021 г. в принятом бюджете были выделены на проектирование и строительство метрополитена в Самаре 119 млн руб., а также по 100 млн руб. – в 2022 и 2023 г. Средства предназначены для окончательного ввода









строительства (без учета последнего еще не исполненного контракта) составила около 9 млрд руб. Первоначально планировали завершить оборудование перегонного тоннеля, камеры съездов станции «Алабинская», и сделать это в 2022 г. На это необходимо более 1 млрд руб. (в ценах 2021 г.). Здесь необходимо соорудить верхнее строение пути, обустроить тоннели, провести отделочные работы камеры съездов и вестибюля № 2 с лестничными сходами № 3 и 4, а также комплекс электротехнических работ, монтаж систем связи, систем управления движения поездов, инженерных систем и монтаж оборудования. Ввести станцию метро «Алабинскую» в эксплуатацию в полном объеме планировали в 2023 г. Это позволит сократить время ожидания прибытия поезда с 10 до 6 мин. Но процесс сооружения станции из-за пандемии коронавируса замедлился.

Чтобы завершить первую линию метро, изначально планировали построить две станции – «Самарская» и «Театральная». Подрядчик региональных властей – ООО «Волгатрансстрой-Проект» – даже сделал проект подготовки площадки к строительству тоннеля и самой станции. Документ прошел Главгосэкспертизу России. По проекту, тоннель должен был пройти под улицей Самарской от Ново-Садовой до Самарской площади. Саму станцию собирались построить в районе пересечения улиц Самарской и Ярмарочной.

#### «Самарскую» строить не будут

Но в ноябре 2021 г. стало известно, что станцию метро «Самарская» в столице региона строить не будут. Когда правительственная комиссия одобрила кредит в 10,4 млрд руб. на завершение строительства первой ветки метро в Самаре, о станции «Самарской» речь не зашла. Зато вспомнили про «Театральную». В администрации региона пояснили, что от идеи строительства станции «Самарская» пришлось отка-



заться, так как между ней и планируемой «Театральной» слишком маленькое расстояние. По новому проекту, метро проложат под улицей Самарской от Полевой до Ульяновской, а далее по Галактионовской от Вилоновской до Красноармейской улицы. Она будет расположена неподалеку от оперного театра, что существенно с точки зрения городской логистики. При этом предусмотрено строительство перегонных тоннелей и самой станции «Театральная». По условиям предоставления кредита, срок ввода «Театральной» в эксплуатацию – первый квартал 2024 г.

**К строительству «Театральной» приступили**

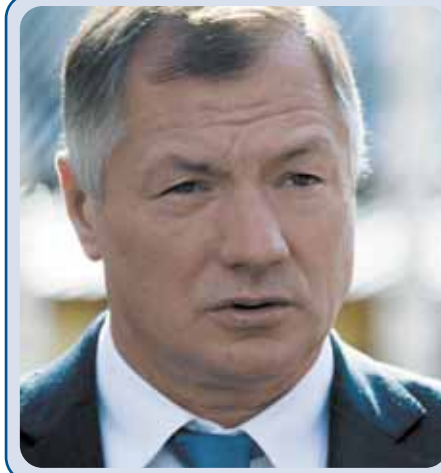
На сегодняшний день Главгосэкспертиза России утвердила проектно-сметную документацию на устройство двух стартовых котлованов для станции метро «Театральная». По словам эксперта Главгосэкспертизы России, положительные заключения выданы на два этапа подготовки территории строительства, они включают устройство части котлована самой станции «Театральной». Второй котлован нужен для прокладки тоннеля под улицами Самарской и Ново-Садовой на пересечении с улицей Полевой.

28 октября 2022 г. в Самаре дан старт масштабным земляным работам по устройству стартовых котлованов, необходимых для создания тоннелей при помощи проходческого механизированного комплекса. Это нужно, чтобы в дальнейшем работы между действующей станцией метро «Алабинская» и будущей станцией «Театральная» велись закрытым способом.

На первом этапе предусмотрено крепление котлована, устройство распорной фундаментной плиты, конструкций для старта проходческого комплекса. На втором этапе обустроят часть однопутных перегонных тоннелей, которые будут примыкать к существующей камере съезда станции «Алабинская». «Установка буросекущихся свай в котлованах займет полтора-два месяца, – сообщил представитель подрядчика. – Сразу после этого мы привезем на место механизированный комплекс для проходки закрытым способом – так называемый «щит», и начнем рыть тоннель».

Весь процесс строительства станции метро «Театральная» разделен на несколько этапов. Это два этапа по освобождению от инженерных коммуникаций (они уже готовы, на них есть положительное заключение госэкспертизы), два стартовых котлована как отдельные этапы, демонтаж зданий и сооружений, которые изымаются для государственных нужд и непосредственно основная проходка тоннелей станционным комплексом со строительством притоннельных сооружений. Подготовительные работы по выносу инженерных сетей на улице Галактионовской практически завершены.

Строительство станции «Театральная» по плану закончат к концу 2024 г. «Театраль-



**«Театральная» станет конечной, завершит первую ветку самарской подземки, свяжет быстрорастущие промышленные районы города с административным и культурным центром и обеспечит перевозку порядка 3,5 млн пассажиров в год», – заявил вице-премьер РФ Марат Хуснуллин.**

ная» должна стать последней станцией на первой линии метро Самары. Власти рассчитывают на увеличение пассажиропотока.

Параллельно областные власти расселяют дома, находящиеся в непосредственной близости от будущей станции. По официальным данным, в зону строительства попали жилые помещения, 78 из которых находятся в муниципальной собственности, а 166 принадлежат 162 гражданам по праву частной собственности. Для расселения из муниципального жилья закупают квартиры.

**Как будут строить тоннели**

Власти рассматривают два варианта строительства тоннелей от Театральной» до «Алабинской». По идеальному варианту уже к декабря 2022 г. удалось решить все вопросы с расселением домов, попавших в зону строительства метро и приступить к проходке. В таком случае, уверены специалисты, вполне можно все успеть и одним щитом.

Однако, учитывая задержки с расселением и изъятием земель, был принят более реалистичный второй вариант, по которому два щита пойдут навстречу друг другу, один со стороны Галактионовской, второй – со стороны Полевой. Предполагается, что в момент прохождения друг мимо друга один из щитов приостановит работу на период

проходки и стабилизации грунтов, это примерно два месяца. Общий цикл проходки одного щита составит 7–8 месяцев. За это время он пройдет 1600 м от ул. Галактионовской до ул. Полевой или наоборот. Монтаж щита начался в I квартале 2023 г.

Копать тоннели «Театральной» в Самаре будут закрытым способом. При этом их глубину увеличили. Это сделали для того, чтобы переносить меньше инженерных коммуникаций. В результате тоннели будут рыть на глубине 16 м, а самым глубоким объектом Самарского метрополитена станут водоотливные притоннельные сооружения, которые будут построены в районе Самарской площади. Глубина их залегания достигнет 28 м.

**Пассажиропоток вырастет на 30 %**

Станция «Театральная» будет иметь четыре вестибюля. Первый разместится на месте дома по ул. Галактионовской, 127 (само здание попадает под изъятие и снос). Второй будет находиться с обратной стороны театра оперы и балета. Третий вестибюль метро будет располагаться около гостиницы «Лотте». Еще один построят в четвертом сквере площади Куйбышева. Сама станция будет острого типа, с колонами, отделана гранитом, а верхние надземные сооружения, включая вестибюли, вентиляционные шах-



**«Завершение первой линии метрополитена – важный и нужный для города инфраструктурный проект, который даст новый импульс для развития Самары», – глава города Елена Лапушкина.**



**«Новая станция метро не нарушит уникальный облик старой Самары, то, за что я сам люблю наш город, и любят его жители, ради чего приезжают туристы. После завершения строительства будут реставрироваться объекты культурного наследия и ценные градоформирующие объекты, попадающие под расселение, они смогут использоваться как здания с нежилыми функциями – магазинчики, кафе, офисы и так далее... Бережное отношение к историческому наследию, сохранение духа и атмосферы старой Самары – наша важнейшая задача. Дело не**

**только в туристической привлекательности, хотя и она, безусловно, очень значима. Это важно для будущих поколений, для детей и внуков, для нас самих, ведь интерес к истории и культуре родного края формирует личность человека, его отношение к Родине, определяет основные ориентиры в его жизни и деятельности», – сказал председатель областного правительства Виктор Кудряшов.**



**«Строительство новой станции метро позволит решить застарелые транспортные проблемы и положительно скажется на инвестиционной привлекательности городского округа в целом и отдельно центральной части Самары, – уверен губернатор Дмитрий Азаров. – Очень важно, что строительство значительно улучшит экономическую ситуацию метрополитена. Мы ожидаем увеличение пассажиропотока более чем на 30 %. Целый комплекс преимуществ дает ввод в строй именно этой станции метро.»**

ты и т. д., будут оформлены в одном стиле с театром оперы и балета.

В прямом эфире программы «На связи с городом» телеканала «Самара-ГИС» Елена Лапушкина рассказала о том, как улучшится жизнь самарцев с завершением строительства станции метро «Театральная». «В первую очередь, из Юнгорода, с Безмянки до исторического центра города можно будет добраться без пробок, без необходимости искать парковочное место», – заявила мэр города. – «Театральная» позволит за несколько минут оказаться на «старой набережной». В исторической части города работает очень

много людей, проживающих в Советском, Промышленном, Кировском районах. И, наоборот, много жителей Самарского, Ленинского района работают на предприятиях и в офисах в других районах города».

К открытию станции метро «Театральная» планируется обновить подвижной состав, об этом заявила глава города Елена Лапушкина. Так, 26 октября в Самару были доставлены пять обновленных вагонов метрополитена. Работы по капитальному ремонту подвижного состава проводились в Санкт-Петербурге силами специалистов «Метровагонмаш». В настоящий момент в самарском электродепо

по 50 вагонов, которые задействованы в организации перевозок пассажиров. При этом более половины из них модернизировано.

### Вторая ветка метро

По плану регионального Минстроя, вторая ветка метро в Самаре пройдет от Фрунзенского моста до железнодорожного вокзала под землей – вдоль берега реки Самары. Через железнодорожные пути линию протянут по эстакаде. С улицы Мечникова метро уйдет под землю и протянется вдоль проспекта Карла Маркса до улицы Гагарина. Затем с Гагарина подземку протянут по Московскому шоссе до района рядом с центральным автовокзалом. Длина второй ветки метро составит 9,06 км. Всего планируется построить шесть станций:

- «Хлебная площадь» – под Фрунзенским мостом;
- «Вокзальная» – на эстакаде, над старым зданием пригородных касс;
- «Клиническая» – на пересечении улиц Владимирской и Карла Маркса;
- «Карла Маркса» – на пересечении улицы Карла Маркса с улицей Гагарина над действующей станцией метро «Московская»;
- «Революционная» – на пересечении улиц Революционной и Ново-Московской;
- «Орловская» – на Московском шоссе между улицами Авроры и Энтузиастов.

На 2022–2024 гг. власти запланировали разработку проекта первого этапа работ. Но пока придерживаются уже утвержденных проектов. Кроме того, чтобы сэкономить деньги, по Московскому шоссе до Центрального автовокзала хотят проложить «легкое» метро.

### Перспективное развитие

В 2020 г. также в публичную плоскость попали схемы перспективного строительства метро. В них обозначено возведение участка подземки от перспективной станции «Орловская» до перспективной станции «18-й км» с пятью станциями. Также в схемах указано, что еще одну линию хотят протянуть от станции «Московская» до перспективной станции «12-я станция» в поселке Соцгород с пересечением реки Самары и со строительством восьми станций и электродепо.

Но пока это все не более, чем планы. Когда на их реализацию у городской администрации появятся деньги, пока не ясно.

В настоящее время протяженность линии Самарского метрополитена составляет 11,6 км. Всего работает десять станций. Среднесуточный объем перевозок пассажиров составляет более 28 тыс. человек, в год – свыше 10 млн. Ввод новой станции в эксплуатацию позволит увеличить эти показатели. Работы по строительству «Театральной» планируется завершить в 2024 г.



*По материалам издания «Приоритетные проекты метро и тоннелестроения России 2022–2023 гг.» (автор текста Н. В. Алхимова, ООО «Гидротехника XXI век», при участии А. Р. Попонина, Тоннельная ассоциация России)*



# Ю. А. ЛИМАНОВ – УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ИНЖЕНЕР (К 120-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



Для каждого ученого важно не только то, что остается в архивах науки, но и то, что остаются благодарные ему ученики. У Ю. А. Лиманова, признанного и авторитетного руководителя отечественной школы тоннелестроения, сотни благодарных ему учеников. Среди них доктора и кандидаты наук, талантливые инженеры и руководители крупных проектных и строительных организаций.

В центре интересов Ю. А. Лиманова на первом месте всегда стояла его научно-педагогическая работа. Он относился к категории ученых мужей, для которых понимание того, что под его влиянием кто-то пришел в науку, не менее приятно, чем осознание того, что он сам в ней смог что-то сделать. Всякий не разрешенный практиками вопрос возбуждал творческую активность Юрия Андреевича, чем и объясняется тематическое разнообразие его научных исследований. Он принимал энергичное участие в общественной жизни института, в научно-технических советах ведущих предприятий отрасли, вел большую переписку с учениками и коллегами как в Союзе, так и за границей.

Ю. А. Лиманов относится к категории людей, встреча с которыми изменяет «масштабы» души. Общаясь с коллегами, Юрий Андреевич понимал необходимость считаться с индивидуальностью каждого и никому не ставил в пример собственные привычки. Блестящий организатор и обаятельнейший человек, Юрий Андреевич в общении проявлял свою широкую эрудицию, удивительную отзывчивость к чужой мысли. Он был чужд

всякой предвзятости, терпеливо и с интересом выслушивал доводы участвующих в дискуссии оппонентов. Это бережное отношение к чужому мнению все, кому довелось общаться с Юрием Андреевичем, считали наиболее характерной чертой его натуры.

Юрий Андреевич Лиманов родился 8 марта (23 февраля) 1903 г. в селе Урусово Мишуровской волости Алатырского уезда Симбирской губернии.

В 1929 г. Юрий Андреевич заканчивает Ленинградский институт инженеров путей сообщения (ЛИИПС) и поступает на работу в институт Лентрансостпроект, где он являлся автором ряда ответственных проектов, связанных с реконструкцией тоннелей Транссиба. Технические указания, разработанные с участием Ю. А. Лиманова, были использованы позднее при восстановлении тоннелей во время Отечественной войны. Результаты его труда не только воплотились в осуществленных проектах, но и легли в основу кандидатской диссертации «Методы реконструкции тоннелей без перерыва движения». Ю. А. Лиманов участвовал в проектировании искусственных сооружений на строительстве второго пути Сибирской магистрали и проведении натурных исследований по оценке технического состояния тоннелей на Дальневосточной железной дороге.

14 июня 1930 г. постановлением Комитета по высшему образованию при ЦИК СССР в ЛИИПСе была организована первая в нашей стране кафедра тоннели (с 1967 г. – тоннели и метрополитены). Первым заведующим кафедрой тоннели был назначен известный строитель и крупный ученый Александр Николаевич Пассек (1886–1951) – выпускник Института инженеров путей сообщения (1912 г.). Первый прием студентов по тоннельной специальности был осуществлен в сентябре 1930 г. Для чтения лекций и проведения практических занятий по специальным дисциплинам, в 1933 г. на кафедру был зачислен ассистентом инженер Ю. А. Лиманов.

В эти годы кафедрой проводились работы, связанные с обследованием тоннелей на Казахской, Средне-Азиатской и Амурской железных дорогах.

Сотрудники кафедры Ю. А. Лиманов, Г. И. Андриевский, аспирант В. П. Волков (впоследствии заведующий кафедрой тоннели и метрополитены МИИТа, доктор технических наук, профессор) принимали активное участие в работе по проектированию первого проходческого щита, которым был пройден перегонный тоннель между станциями «Площадь Дзержинского» – «Охотный Ряд» 1-й очереди Московского метропо-

литена. В это же время, с участием заведующего кафедрой профессора А. Н. Пассека и ассистента Ю. А. Лиманова, была запроектирована и построена первая отечественная породопогрузочная машина ПМЛ-3. В 1939 г. при участии кафедры (Ю. А. Лиманов, С. А. Компаниец, Л. И. Бобровский) был составлен проект первого в стране подводного автомобильного тоннеля из опускных секций под Морским каналом в Ленинграде.

После принятия в конце 1940 г. решения о строительстве Ленинградского метрополитена, Ю. А. Лиманов участвовал в составе группы проектировщиков в разработке основных положений по его строительству, не оставляя при этом преподавания в ЛИИЖТе. В начале 1941 г. его принимают на должность начальника технического отдела Ленметростроя.

Война на время отодвинула планы по строительству метро. Во время блокады Ленинграда, находясь вместе с метростроителями в воинских частях Ленинградского фронта, Ю. А. Лиманов проектировал и строил военные объекты, мостовые конструкции, временные переправы через р. Неву. На строительстве легендарной «Дороги жизни» на Ладожском озере возводились пирсы, конструкции которых разработал военный инженер Лиманов. Значительная работа была проведена им по исследованию технического состояния искусственных сооружений и разработке методов восстановления Ленинградского железнодорожного узла, железнодорожных тоннелей в Карпатах, при реконсервации выработок Ленинградского метрополитена и подготовке к его дальнейшему строительству.

После окончания Великой Отечественной войны Ю. А. Лиманов возвращается к довоенным проектам, и теперь его научные интересы тесно связаны со строительством Ленинградского метрополитена. Являясь в эти годы доцентом кафедры тоннели, он одновременно с 1946 по 1948 г. руководит проектной организацией Ленметростроя. Рассматривая перспективную схему линий, коллектив решает проблему взаимосвязи проектируемых линий метрополитена с линиями Ленинградского железнодорожного узла, ведется работа по созданию новых рациональных конструкций обделок перегонных тоннелей, сооружаемых в толще протерозойских глин. Результаты этой работы в дальнейшем нашли свое воплощение в объемно планировочных решениях станций «Балтийская», «Девяткино», «Купчино», «Удельная», «Обухово», «Рыбацкое», «Ладожская», где в настоящее время осуществляется пересадка на пригородные железнодорожные линии.



Ю. А. Лиманов, 1961 г. (справа – аспирант из Китая)

В 50-е годы исследования Ю. А. Лиманова направлены на изучение процесса сдвижения земной поверхности при производстве тоннельных работ, на снижение их негативного влияния на городскую застройку. Несмотря на большой объем материалов натурных инструментальных наблюдений за осадками земной поверхности, основной вопрос о сущности явлений, происходящих в

толще грунтового массива при проведении тоннельных выработок, невозможно было решить без выполнения экспериментальных лабораторных исследований. Поэтому впервые в тоннелестроении для изучения процесса взаимодействия системы «грунтовой массив – выработка – крепь» Ю. А. Лимановым был разработан метод моделирования с применением эквивалентных материалов.

Результатом проведенных натурных, экспериментально-лабораторных и глубоких теоретических исследований явилась опубликованная в 1957 г. монография «Осадки земной поверхности при сооружении тоннелей в кембрийских глинах», на основе материалов которой Ю. А. Лиманов успешно защитил докторскую диссертацию.

В 1959 г. по инициативе и под руководством профессора Ю. А. Лиманова при кафедре была создана научно-исследовательская лаборатория моделирования тоннелей, целью которой стало проведение исследований, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией подземных сооружений различного назначения, с применением этого метода.

Ю. А. Лиманову удалось сформировать работоспособный коллектив единомышленников и широким фронтом развернуть научные исследования, направленные на дальнейшее совершенствование тоннельного строительства. В 1964 г. за разработку и внедрение в тоннельное строительство метода моделирования с применением эквивалентных материалов он был награжден медалью ВДНХ СССР.

В этот период под научным руководством Ю. А. Лиманова ведутся исследования по изучению статической работы станций метрополитена без боковых посадочных платформ и исследованию осадок земной поверхности при сооружении эскалаторных тоннелей с предварительным замо-

Ведущие специалисты-тоннельщики – участники семинара на кафедре тоннели и метрополитены ЛИИЖТа, 1988 г.: (слева направо) сидят: Е. А. Демешко (МИИТ), Ю. А. Лиманов (ЛИИЖТ), Д. М. Голицынский (ЛИИЖТ), В. В. Путятин (ЛИИЖТ), стоят: В. К. Сергеев (МИИТ), В. Е. Меркин (ЦНИИС), Ю. С. Фролов (ЛИИЖТ), В. А. Подчекаев (ЛИИЖТ), П. В. Степанов (ЦНИИС), С. Н. Сильвестров (Метрострой), Н. И. Кулагин (Ленметропроект), И. Л. Воллер (Оргэнергострой), Н. П. Ваучский (ВИТКУ)





раживанием водонасыщенных грунтов толщи четвертичных отложений; проводятся натурные и экспериментально-лабораторные исследования, связанные с эксплуатацией и реконструкцией железнодорожных тоннелей на Дальневосточной, Львовской и Закавказской железных дорогах; впервые изучается динамическое воздействие подвижного состава на обделки эксплуатируемых тоннелей.

Особо следует отметить научно-исследовательские работы, направленные на изучение возможности применения в тоннелестроении податливых конструкций с введением в них шарнирных связей, что позволило внедрить обделки нового поколения – шарнирные обделки, обжатые в грунт. Результатом проведенных исследований явилось создание на Петербургском метрополитене новых станционных конструкций – одноводчатых станций с мног шарнирными сводами, опирающимися на массивные опоры и стаций колонного типа с шарнирным опиранием сводов на колонны.

Научная деятельность Ю. А. Лиманова имела ярко выраженную практическую направленность. Большая часть работ, выполняемых под его научным руководством, носила прикладной характер и внедрена в практику отечественного тоннелестроения, а его идеи стали основополагающими в решении многих проблем в этой области. Он неоднократно выезжал за рубеж для консультаций по вопросам строительства метро, а также для чтения лекций.

Будучи деканом факультета «Мосты и тоннели» с 1958 по 1965 г. и заведующим кафедрой тоннели и метрополитены с 1967 по 1980 г. Ю. А. Лиманов основной целью преподавания считал развитие у студентов творческого начала, инициативы на основе самостоятельной работы. Студентам можно и нужно помочь учиться, но все же научиться они могут только сами, считает он.

В 1969 г. за заслуги в области науки и техники, а также за многолетнюю педагогическую работу Ю. А. Лиманову было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и техники РСФСР».

Большое значение Ю. А. Лиманов придавал подготовке кадров высшей квалификации. Под его руководством написали и защитили диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук свыше 40 человек, из них пять зарубежных аспирантов; у пяти человек он был научным консультантом при работе над докторской диссертацией.

В 1965 г. постановлением Совета Министров СССР он был введен в состав Высшей аттестационной комиссии (ВАК) МВ и ССО СССР.

Наряду с научной и педагогической работой Ю. А. Лиманов вел большую общественную работу, являясь членом научно-технического совета Министерства транспортного



**Коллектив кафедры тоннели и метрополитены ПГУПС, 2020 г.**

строительства, Ленметростроя и Ленметропроекта, а также членом Государственной комиссии по приемке и эксплуатации транспортных сооружений.

Ю. А. Лиманов награжден тремя орденами и двенадцатью медалями. Ему были присвоены звания «Ветеран Невской Дубровки 1941–1943 гг.», «Ветеран железнодорожных войск», «Почетный профессор ЛИИЖТа», «Почетный метростроитель», «Почетный сотрудник Ленметростроя», «Почетный железнодорожник».

Умер Ю. А. Лиманов 31 августа 1996 г. в возрасте 93 лет.

Принимая в наследство славу питомца института, коллектив кафедры тоннели и метрополитены утверждает себя собственными делами. На кафедре работают два доктора технических наук профессора (ученики Ю. А. Лиманова), три кандидата технических наук доцента. Научно-практическая деятельность кафедры осуществляется сотрудниками лаборатории моделирования тоннелей, созданной Ю. А. Лимановым. Такой мощный научно-педагогический потенциал кафедры позволяет говорить о ее лидирующем положении в подготовке кадров для отечественного тоннеле- и метростроения.

Кафедра продолжает укреплять традиционные связи с производством и, прежде всего, с такими организациями как «Метрострой Северной столицы», «Ленметрогипротранс», «Ленгипротранс», «Петербургский метрополитен», участвует в работе городских комиссий по вопросам развития внеуличного скоростного транспорта. Сотрудники кафедры выполняют работы по обследованию и мониторингу технического состояния объектов Петербургского метрополитена, изучают закономерности проявле-

ния и степень влияния наземного строительства на сооружения метрополитена, разрабатывают инновационные методы реконструкции тоннелей и шахтных стволов. На кафедре проводятся исследования, целью которых является обоснование требований, учитывающих аэродинамическое воздействие поезда на тоннельные конструкции, при разработке специальных технических условий по проектированию высокоскоростных железнодорожных магистралей.

Кафедра является коллективным членом Международного общественного объединения «Тоннельная ассоциация». Преподаватели кафедры принимают активное участие в работе международных конгрессов, симпозиумов и конференций по вопросам подземного строительства, а также в работе Академии транспорта РФ, осуществляя консультативную деятельность в различных регионах России (Сочи, Москва, Нижний Новгород, Ульяновск, Республика Дагестан, Магаданская область, Краснодарский край, Республика Крым) и за рубежом (Сирия, Эфиопия, Казахстан).

Ю. А. Лиманов для нас особенно дорог еще и тем, что он входит в плеяду знаменитых выпускников старейшего путейского института. Ученый совет Петербургского института инженеров железнодорожного транспорта, отмечая выдающиеся заслуги Ю. А. Лиманова в научно-педагогической деятельности, в 1996 г. принял решение поместить его портрет в галерее видных ученых университета. 8 марта 1997 г. портрет занял достойное место в галерее в день рождения Юрия Андреевича.



*Ю. С. Фролов, д. т. н., профессор  
кафедры тоннели и метрополитены ПГУПС,  
заслуженный строитель РФ*

# ОЦЕНКА РАБОТ ПО РЕМОНТУ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ДЕФОРМАЦИОННОГО ШВА В ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ СТИЛОБАТА

## WORK EVALUATION ON THE REPAIR OF THE EXPANSION JOINT WATERPROOFING IN THE STYLOBATE UNDERGROUND PART

С. В. Мазейн, д. т. н., А. Б. Лебедевков, И. Я. Дорман, д. т. н., Тоннельная ассоциация России

S. V. Mazein, Doctor of Technical Sciences, A. B. Lebedkov, I. Y. Dorman, Doctor of Technical Sciences, Tunneling Association of Russia

Цель настоящей статьи – оценка выполненной в натуре гидроизоляции деформационного шва между основным зданием МФК и стилобатом с точки зрения обеспечения его водонепроницаемости. После инженерно-гидрогеологической оценки участка, Тоннельной ассоциацией России был проведен анализ документации на устройство узла гидроизоляции деформационного шва. В рамках консультационно-технического сопровождения работ представлен анализ керна, пробуренного в данном узле, а также освещены результаты ремонта деформационного шва.

*The purpose of this article is to evaluate the natural waterproofing of the expansion joint between the main building of the IFC and the stylobate in terms of ensuring its water resistance. After the engineering and hydrogeological assessment of the site, the Tunneling Association of Russia analyzed the documentation for the installation of the expansion joint waterproofing unit. As part of the consulting and technical support of the work, an analysis of the core drilled in this unit is presented, as well as the results of the repair of the expansion joint.*

**В** пойменной части р. Москвы в районе Хорошево-Мневники на выделенной площадке строительства сооружено здание Многофункционального комплекса «Мневники» (МФК) в составе «Транспортно-пересадочного узла «Мневники», расположенного по адресу: г. Москва, СЗАО, территория района Хорошево-Мневники. В пределах рассматриваемой площадки помимо МФК проектом предусматривается строительство автомобильных дорог, паркинга, инженерных коммуникаций.

### Описание объекта

МФК представляет собой 13-этажное каркасное железобетонное здание с тремя подземными этажами (рис. 1).

По обеим сторонам здания МФК расположены стилобатные части, при этом северный стилобат № 1 имеет один подземный этаж высотой 4,55 м, размещенный на 600-мм железобетонной фундаментной плите на песчаной подушке толщиной 1,55 м. Отметка пола стилобата 136.55.

По проекту стилобатная часть со стороны примыкания к внешней стене основной конструкции МФК не имеет собственной стены, в том числе и в подземной части, и отделена от основного здания МФК на всем протяжении продольным деформационным швом (ось «Е» по документации) с гидроизоляцией в уровне пола подземного этажа.

В настоящее время деформационный шов с размещенной в нем гидроизоляцией находится в затопленном состоянии, и вода из него изливается на пол подвального этажа стилобата.

### Инженерно-гидрогеологическая характеристика участка строительства

Для возможности оценки причин появления воды в деформационном шве необходимо рассмотреть резуль-

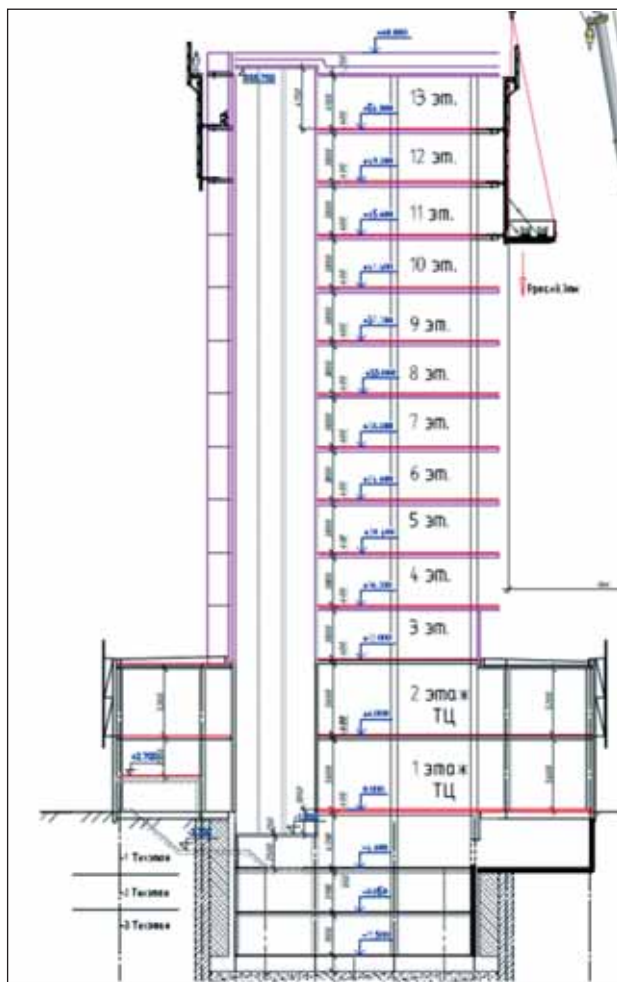


Рис. 1. Поперечный разрез здания МФК



таты архивных и дополнительных инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, выполненных в районе строительства МФК.

В геоморфологическом отношении изучаемая территория расположена в пределах второй (Мневниковской) надпойменной террасы р. Москвы.

По архивным данным в геологическом строении территории до глубины 16 м принимают участие четвертичные и дочетвертичные отложения.

Четвертичные отложения представлены техногенными отложениями и аллювиальными отложениями второй (Мневниковской) надпойменной террасы р. Москвы.

Техногенные грунты (tQIV) распространены повсеместно и представлены преимущественно песками разномерными, а также суглинками и глинами, с частым включением крошки и обломков кирпича, бетона, со щепой древесины, местами с кусками металла, осколками стекла, на участках развит почвенно-растительный слой.

Верхнечетвертичные аллювиальные отложения (aQIII) представлены песками желтыми, желтовато и серовато-коричневыми, преимущественно средней крупности и крупными, реже мелкими и гравелистыми. Пески рыхлые, средней плотности и плотные, малой и средней степени водонасыщенности и водонасыщенные. Мощность отложений достигает 6 м.

Дочетвертичные отложения представлены верхнеюрскими отложениями (J3).

Отложения представлены глинами, суглинками мягко и тугопластичными, полутвердыми и песками с конкрециями фосфоритов. Мощность отложений колеблется от 2,1 до 23,5 м.

На исследуемую глубину до 16 м вскрыты подземные воды надъярского водоносного горизонта. Водовмещающими породами являются пески пылеватые, мелкие и средней крупности, плотные, средней плотности и рыхлые, а также глинистые разности по песчаным прослоям. Горизонт носит безнапорный характер. Подземные воды отмечены на глубинах 2,3–3,5 м. Водоупором являются глинистые отложения верхнеюрского возраста.

При бурении скважин до глубины 16 м в инженерно-геологическом разрезе выделено два водоносных горизонта.

Водовмещающими породами надъярского водоносного горизонта являются пески пылеватые, мелкие и средней крупности, плотные, средней плотности и рыхлые, а также глинистые разности по песчаным прослоям. Горизонт носит безнапорный характер. Подземные воды отмечены на глубинах 2,3–3,5 м. Водоупором являются глинистые отложения верхнеюрского возраста.

Согласно СП 22.13330.2016 территория изысканий по глубине залегания первого от поверхности водоносного горизонта от 0,2 до 4,0 м относится: при глубине залегания

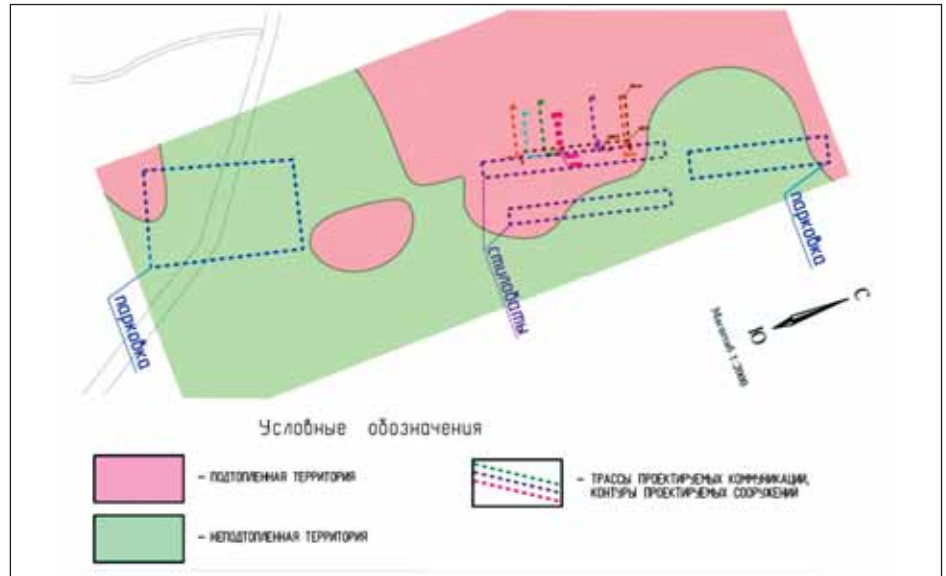


Рис. 2. Карта инженерно-геологического районирования территории по подтоплению

уровня подземных вод менее 3 м – к естественно подтопленной; при глубине залегания уровня подземных вод более 3 м – к неподтопленной по характеру техногенного воздействия. Неподтопленная территория относится к потенциально подтопляемой (вследствие неблагоприятных природных и техногенных условий в результате их строительного освоения или в период эксплуатации возможно образование грунтовых вод типа «верховодка», вызывающее нарушение условий нормальной эксплуатации сооружений).

По химическому составу подземные воды сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые, пресные, с

минерализацией от 0,7 до 0,8 г/л. Воды жесткие, умеренно жесткие, слабоагрессивные к бетонам марки W4, неагрессивны к бетонам марок W6, W8, W10-W12. К арматуре железобетонных конструкций воды слабоагрессивные при периодическом смачивании и неагрессивны при постоянном погружении.

На рис. 2 представлена карта инженерно-геологического районирования территории по подтоплению.

Анализ этой карты свидетельствует, что в период обильного выпадения осадков и интенсивного снеготаяния уровень подземных вод может повышаться в подвальной части стилобата относительно уровня, установленного бурением.

Рис. 3. Схема отбора кернов из пробуриваемых шпуров (скважин)

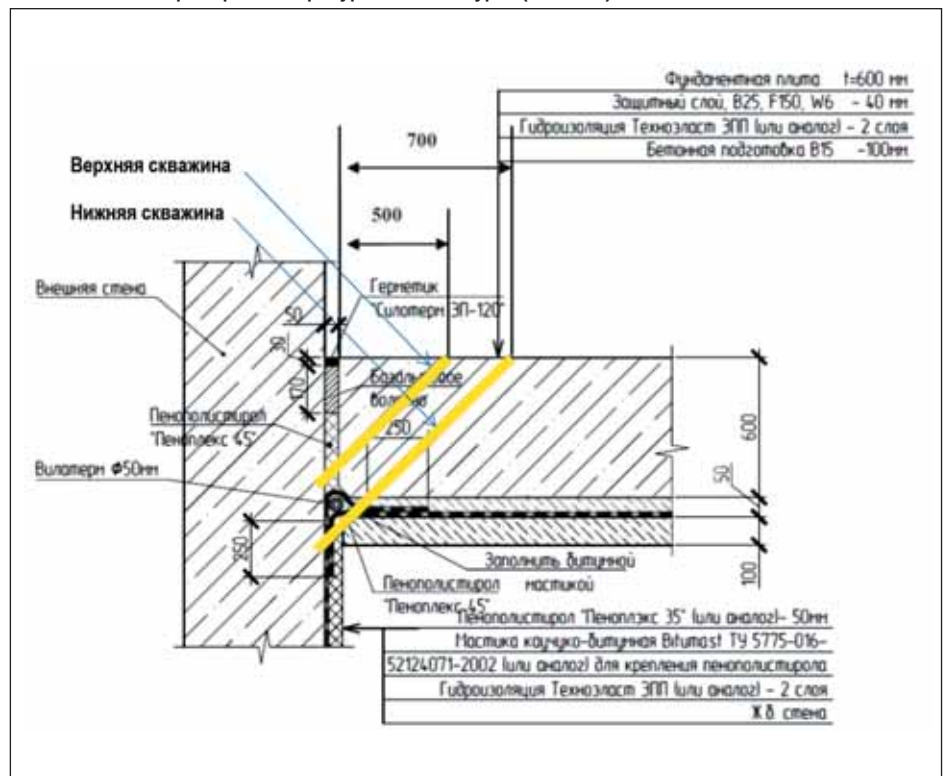




Рис. 4. Керны: вверху из верхнего шпура (четыре слоя эластопласта) и из нижнего шпура два оплавленных изоляционных слоя стены МФК



Рис. 5. Фрагмент четырех слоев гидроизоляции из керна верхнего шпура

Рис. 6. Контрольное бурение верхней скважины



#### Анализ документации узла гидроизоляции деформационного шва

Рабочей документацией предусмотрена конструкция гидроизоляции деформационного шва по продольной оси деформационного шва между основным зданием МФК и стилобатом.

Данное техническое решение позволяет обеспечивать защиту подземной части стилобата (фундаментной плиты) от проникновения грунтовых вод, поскольку постоянный подпор грунтовой воды усиливает связи между двумя слоями гидроизоляции из Техноэласта ЭПП, ранее приклеенными к внешней по отношению к стилобату стене МФК, и двумя слоями гидроизоляции из Техноэласта ЭПП в деформационном шве стилобата.

Техноэласт ЭПП относится к рулонным наплавляемым материалам. Основным требованием к таким материалам, укладываемым в несколько слоев, является надежность укладываемой мембраны. Надежность обеспечивается, прежде всего, неукоснительным требованием технологии укладки рулонных материалов, имеющих сплошной контакт с бетонной поверхностью, в сухих условиях. Важным требованием является минимальное движение паров через конструкцию. Наличие паров и влаги приводит к потере адгезии.

Эти условия были прописаны в «общих указаниях» на листах чертежей проектной документации, где указано:

- «грунтовые воды, а также атмосферные осадки и поверхностные стоки, попадающие в котлован, собираются посредством системы водоотводящих лотков в зумфы с последующей откачкой за пределы котлована;
- для предотвращения затопления котлована необходимо разработать проект глубинного водоотведения».

В процессе экспертизы были проанализированы четыре других документа, которые не внесли ясность о фактически выполненной конструкции узла гидроизоляции деформационного шва.

Возникает вопрос: по какому же проекту была выполнена фактически гидроизоляция деформационного шва? По шифру утвержденной рабочей документации, освидетельствованной Актом на скрытые работы, или же по шифру документации, измененному авторским надзором?

Поскольку деформационный шов был заполнен водой, Тоннельной ассоциацией России были даны рекомендации каким образом в создавшихся условиях оценить фактическое расположение гидроизоляции в деформационном шве.

Для возможности определения фактически выполненной конструкции гидроизоляции и последующих ремонтных работ было предложено пробурить две наклонные скважины (шпура) под углом 45 градусов к горизонтали через бетонный пол стилобата в направлении стены МФК, через деформационный шов, гидроизоляцию шва и изоляцию стены МФК с отбором кернов.





Рис. 7. Ремонт гидроизоляции горизонтального деформационного шва

Такая схема позволяла взять керны с отметок ниже и выше подготовки под бетонный пол стилобата и, тем самым, определить фактическое местоположение двух слоев гидроизоляции из Техноэласта ЭПП узла (вертикально вверх или вниз по стене МФК). Эти рекомендации были приняты к исполнению: в помещении подвала стилобата между осями 9–10 пробурены (по схеме рис. 3) две скважины, из которых извлечены керны.

На рис. 4 и 5 показаны фотографии выбуренных кернов.

### Результаты экспертизы кернов, пробуренных в деформационный шов

1. В верхнем керне обнаружено четыре слоя Техноэласта, из которых:

- два плотно спаянных слоя, являющихся изоляцией стены МФК;
- другие два слоя гидроизоляции деформационного шва практически не спаяны (рис. 7б), это визуально подтверждается следующими признаками: их раздельность, толщина, как у исходного материала, не подвергавшегося термическому воздействию (спаиванию), что свидетельствует о возможности протечки грунтовой воды через данные слои и заполнения ею деформационного шва.

2. В нижнем керне обнаружено лишь два спаянных слоя изоляции стены МФК, а изоляции деформационного шва не обнаружено.

3. По требованию исполнителя гидроизоляции деформационного шва было проведено контрольное бурение верхней скважины (рис. 6) в том же подвальном помещении стилобата, но, ввиду попадания коронки при бурении в ряд арматурных металлических стержней железобетонной плиты, из-за повышения температуры в скважине, слои Техноэласта ЭПП деформационного шва оплавившись и окомковывались. Тем не менее, можно констатировать наличие листов изоляции в деформационном шве вертикально вверх по стене. В акте о контроле выполненных работ было отмечено, что «образец керна взят для передачи в аккредитованную лабораторию для анализа адгезии выполненной гидроизоляции».

Исходя из анализа проведенных работ по выбуриванию кернов, можно констатировать, что фактическое выполнение гидроизоляции деформационного шва осуществлялось исполнителем по чертежам шифра, предусматривающим ее спайку вверх по стене, в соответствии с записью авторского надзора проектировщика.

В то же время исполнительная документация, завизированная исполнителем, представлена заказчику, как выполненная по чертежу, предусматривающему спайку гидроизоляции вниз по стене, что не соответствует действительности.

### Результаты ремонта деформационного шва

Для ремонта гидроизоляции деформационного шва была разработана технологическая карта на ремонтные работы методом инъектирования, в которой предусмотрены все необходимые работы, включая материалы и оборудование.

При выполнении всех мероприятий, предусмотренных технологией, водонепроницаемость деформационного шва между стилобатом и основным зданием МФК должна быть обеспечена.

На основании технологической карты были выполнены следующие работы:

- очистка горизонтального деформационного шва в осях 2-15/Е на отм. –4.700;
- укладка вилатерма и заделка шва ремонтным составом в осях 2-15/Е на отм. –4.700;
- бурение и установка инъекционных пакеров по горизонтальной поверхности в осях 2-15/Е на отм. –4.700;
- нагнетание инъекционного состава в горизонтальный деформационный шов в осях 2-15/Е на отм. –4.700;
- демонтаж инъекционных пакеров и заделка отверстий ремонтным составом по горизонтальной поверхности в осях 2-15/Е на отм. –4.700;
- укладка вилатерма и заделка вертикального шва ремонтным составом в осях 2/Е, 15/Е на отм. от –4.700 до +0.450;
- бурение и установка инъекционных пакеров по вертикальной поверхности в осях 2/Е, 15/Е на отм. от –4.700 до +0.450;

- нагнетание инъекционного состава в вертикальный деформационный шов в осях 2/Е, 15/Е на отм. от –4.700 до +0.450;

- демонтаж инъекционных пакеров и заделка отверстий ремонтным составом по вертикальной поверхности в осях 2/Е, 15/Е на отм. от –4.700 до +0.450.

Все этапы работы контролировались сотрудниками Тоннельной ассоциации России, и не было обнаружено отступлений от технологического регламента.

На всех этапах составлялись Акты освидетельствования скрытых работ, на все использованные материалы имелись паспорта и сертификаты качества.

На рис. 7 показаны фрагменты работ по ремонту гидроизоляции горизонтального деформационного шва.

### Заключение

Консультационно-техническое сопровождение работ по ремонту деформационного шва и гидроизоляции подземной части стилобата, осуществляемое сотрудниками Тоннельной ассоциации России, показало эффективность сотрудничества с исполнителями данных работ.

Это способствовало качественному выполнению работ по осушению подземного пространства стилобатной части «Многофункционального комплекса «Мневники» (МФК) в составе «Транспортно-пересадочного узла «Мневники».

### Ключевые слова

Водонепроницаемость, консультационно-техническое сопровождение, Техноэласт ЭПП.

*Water resistance, consulting and technical support, Technoelast EPP.*

### Для связи с авторами

Мазеин Сергей Валерьевич  
maz-bubn@mail.ru  
Лебедевков Александр Борисович  
lebedkov@rus-tar.ru  
Дорман Игорь Яковлевич  
igor.dorman@mail.ru



# ЗАКРЕПЛЕНИЕ НЕУСТОЙЧИВЫХ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ СПОСОБОМ ИСКУССТВЕННОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ МЕЖТОННЕЛЬНЫХ СБОЕК ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

## CONSOLIDATION OF UNSTABLE WATER-SATURATED SOILS BY ARTIFICIAL FREEZING FOR THE BUILDING OF INTER-TUNNEL JUNCTIONS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

Е. А. Депланы, В. П. Кивлюк, Д. С. Конюхов, к. т. н., АО «Мосинжпроект»

E. A. Deplanyi, V. P. Kivlyuk, D. S. Konyukhov, PhD, JSC «Mosinzhproekt»

Показаны и проанализированы различные варианты замораживания грунтов вокруг сооружаемых межтоннельных сбоек на основе опыта, полученного на различных объектах подземного строительства в Москве. Рассмотрены особенности и недостатки каждого варианта замораживания. С целью минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций при горнопроходческих работах, а также осложнений при создании ледогрунтового ограждения выбран рекомендуемый вариант замораживания.

*Various options for freezing of soils around inter-tunnel assemblies under construction are shown and analysed on the basis of experience gained at various underground construction sites in Moscow. The features and disadvantages of each freezing variant are considered. In order to minimize the risks of emergency situations during excavation works as well as complications during creation of an ice-ground fence, the recommended freezing variant has been chosen.*

**В** настоящее время закрепление грунтов для сооружения межтоннельных сбоек в сложных инженерно-геологических условиях приобретает всё большую актуальность, так как проходка тоннелей осуществляется механизированными щитовыми комплексами, и глубина заложения строящихся тоннелей в Москве имеет тенденцию к уменьшению. Геологическое строение в городе таково, что при строительстве метрополитенов глубокого заложения межтоннельные сбойки располагаются, как правило, в глинах или известняках, т. е. в грунтах, не требующих специальных способов предварительного закрепления. Теперь же всё чаще сбойки оказываются на глубине от 20 до 35 м, где, в основном, залегают водонасыщенные пески и супеси (пльвуны).

Уместно напомнить, что при прорыве пльвуна в выработку она подлежит немедленному принудительному затоплению во избежание просадок земной поверхности и связанных с этим катастрофических последствий. Сбойки же располагаются, как правило, между пройденными тоннелями, а также между тоннелем и притоннельным сооружением, таким как строящаяся водоотливная установка либо установка тоннельной вентиляции, представляющие собой выполненные ограждающие конструкции ствола или котлована. Затопить такие выработки проб-

лематично и даже иногда невозможно из-за огромных размеров котлованов или наличия рядом уже пройденной сбойки.

В силу этого сооружение межтоннельных сбоек в пльвунах, находящихся под горным давлением 0,2–0,35 МПа, является едва ли не самым опасным видом горнопроходческих работ. Для безопасного ведения таких работ вокруг сбоек необходимо создать замкнутое прочное ограждение, исключающее прорыв пльвунов в выработку.

По сравнению с химическим закреплением, цементацией и т. п. искусственное замораживание грунтов является единственным контролируемым способом закрепления грунтов: сплошность и толщина создаваемого ледогрунтового ограждения контролируется гидрогеологическими и термометрическими измерениями в специально пробуренных скважинах.

В настоящее время широко применяется как традиционный рассольный способ замораживания (в качестве холодоносителя применяется охлажденный до  $-20...-25$  °С концентрированный водный раствор хлористого кальция), так и зональное замораживание гранулированным «сухим льдом».

В статье описан выбор варианта замораживания грунтов вокруг сбоек, наиболее надежного в отношении безопасности ведения горнопроходческих работ и оптимального по критерию простоты исполнения, на ос-

нове анализа существующего опыта на различных объектах подземного строительства.

### Объект № 1. Сбойка Серебряноборских тоннелей (2006 г.)

Строительство тоннелей на участке пересечения зоны Серебряноборского лесничества и особо охраняемой зоны отдыха велось закрытым способом – щитовым комплексом «Херренкнехт» с гидропригрузом забоя.

Левый и правый транспортные тоннели наружным диаметром 13,75 м двухъярусные. В верхнем ярусе каждого из тоннелей, предусмотренном для движения автотранспорта в одном направлении, размещаются три полосы движения; нижний отведен для одного пути метрополитена. Между транспортными тоннелями размещается сервисный тоннель наружным диаметром 6 м, сооруженный также закрытым способом для технологических целей.

Предварительное закрепление грунтов необходимо было выполнить также закрытым способом на большой глубине без нанесения какого-либо ущерба окружающей среде и ландшафту.

Сбойка представляет собой выработку сечением 5,5 (b) × 6,9 (h) м.

Планом строительства сооружение сбоек велось в два этапа:

- из пройденного левого транспортного тоннеля до сервисного;



• из сервисного тоннеля до правого транспортного.

На первом этапе сбойка сооружалась между левым транспортным тоннелем диаметром 13,75 м и сервисным тоннелем диаметром 6 м.

Для замораживания грунтов вокруг сбойки горизонтально с помощью превенторов были пробурены скважины: из транспортного тоннеля и короткие встречные скважины из сервисного (рис. 1), при этом замораживающая станция располагалась в левом транспортном тоннеле непосредственно у створа сбойки.

Вопрос об обеспечении циркуляции холодоносителя в колонках, пробуренных в двух тоннелях, решен следующим образом: из левого тоннеля на уровне оси сбойки были пробурены две горизонтальные скважины диаметром 140 мм под рассолопроводы со входом их в обделку сервисного тоннеля. Так как грунт на этом уровне представлен твердыми суглинками, бурение вели без дополнительных мероприятий по укреплению. Таким образом была создана единая рассольная сеть для замораживания грунтов из двух тоннелей одновременно. Более подробное описание производимых работ представлено в работе [1].

Однако вернуться к варианту замораживания грунтов вокруг сбойки на Серебряноборских тоннелях заставил фактор, который всегда возникает при замораживании грунтов между пройденными выработками.

Дело в том, что в сооруженных тоннелях и выработках при работающей вентиляции создается постоянный теплоприток, осложняющий процесс замораживания, что и было доказано (рис. 2).

Термометрическая скважина Т2 была пробурена горизонтально из левого транспортного тоннеля и проходила в непосредственной близости над сервисным тоннелем. Из диаграммы видно, что над сводом сервисного тоннеля, несмотря на наличие встречных замораживающих скважин, пробуренных из

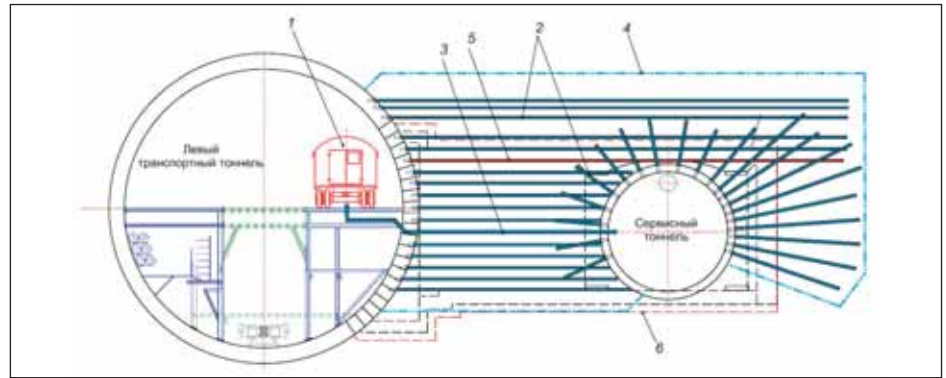


Рис. 1. Замораживание грунтов. Этап 1: 1 – замораживающая станция (две холодильные установки ПХУ-50); 2 – замораживающие колонки; 3 – рассолопроводы D140; 4 – условная граница ледогрунтового ограждения; 5 – термометрическая скважина Т2; 6 – контур сбойки в проходке

последнего, а также вблизи обделки транспортного тоннеля наблюдались температурные аномалии, вызванные работающей вентиляцией. При этом кольца и сервисного, и транспортного тоннелей в зоне работ были выложены теплоизоляцией из матов минераловаты URSA толщиной 100 мм со слоем полиэтиленовой пленки.

Отсюда следует важный вывод: контур замкнутого ледогрунтового ограждения вокруг сбоек в условиях теплопритока, исходящего от вентиляции сооруженных тоннелей, не может быть образован лишь вертикальными, наклонными или горизонтальными замораживающими скважинами, пробуренными до обделки либо по касательной к тоннелю. Для создания такого контура необходимо пробурить встречные скважины из сооруженных тоннелей, перекрывающих зону теплопритока.

**Объект № 2. Замораживание сбоек на примыкании к установке тоннельной вентиляции на перегоне от ст. «Карачарово» до ст. «Текстильщики» Большой кольцевой линии Московского метрополитена (2021–2022 гг.)**

Установка тоннельной вентиляции (УТВ) представляла собой котлован длиной 73,25 м между сооруженными тоннелями. Из котло-

вана к тоннелям в замороженных грунтах необходимо было построить четыре сбойки, две из которых сдвоенные (рис. 3).

Для решения задачи закрепления неустойчивых водонасыщенных грунтов вокруг сбоек был применен двухэтапный комбинированный способ замораживания грунтов: искусственное замораживание грунтов вели как традиционным рассольным способом, так и гранулированным «сухим льдом». При этом бурение рассольных замораживающих скважин выполняли как с поверхности, так и с использованием превенторов из сооруженных тоннелей (рис. 4).

Для оптимизации процессов замораживания и проходки участок работ разделяли на отсеки, соответствующие каждой сбойке. Замораживание грунтов можно было выполнять как последовательно на каждом отсеке, так и параллельно, в зависимости от очередности горнопроходческих работ.

Целью рассольного замораживания было создание сплошных ледогрунтовых контуров отсеков, исключаящих связь с внешними водонасыщенными грунтами. Контур отсеков замораживали на полную глубину до входа в водоупорные глины на 2 м.

Целью замораживания грунтов «сухим льдом» было создание над сводовой частью

Рис. 2. График изменения температуры грунта при замораживании грунтов вокруг сбойки между левым транспортным и сервисным Серебряноборскими тоннелями

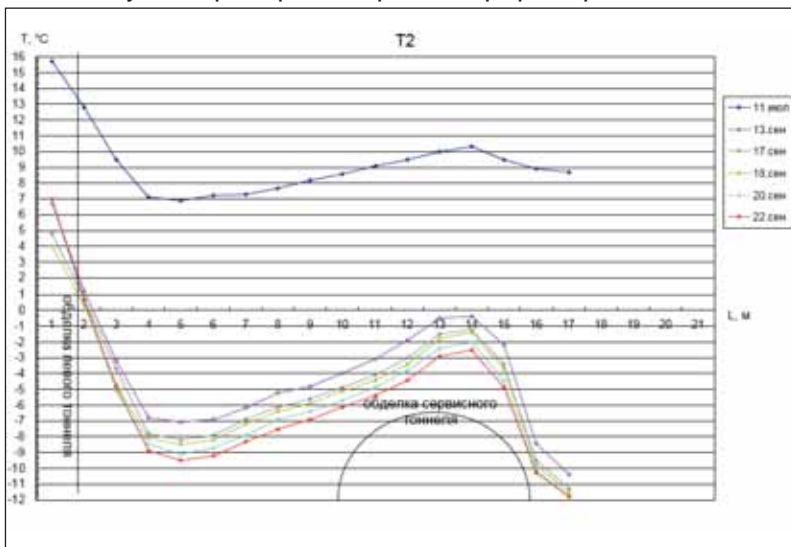
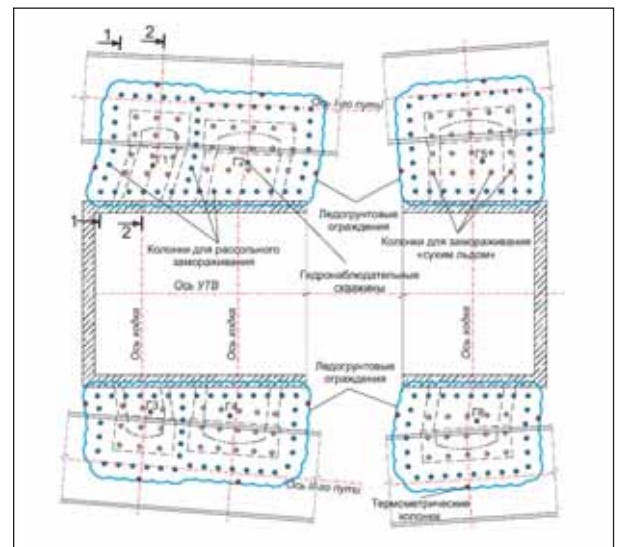


Рис. 3. Схема замораживания грунтов вокруг сбоек комбинированным способом



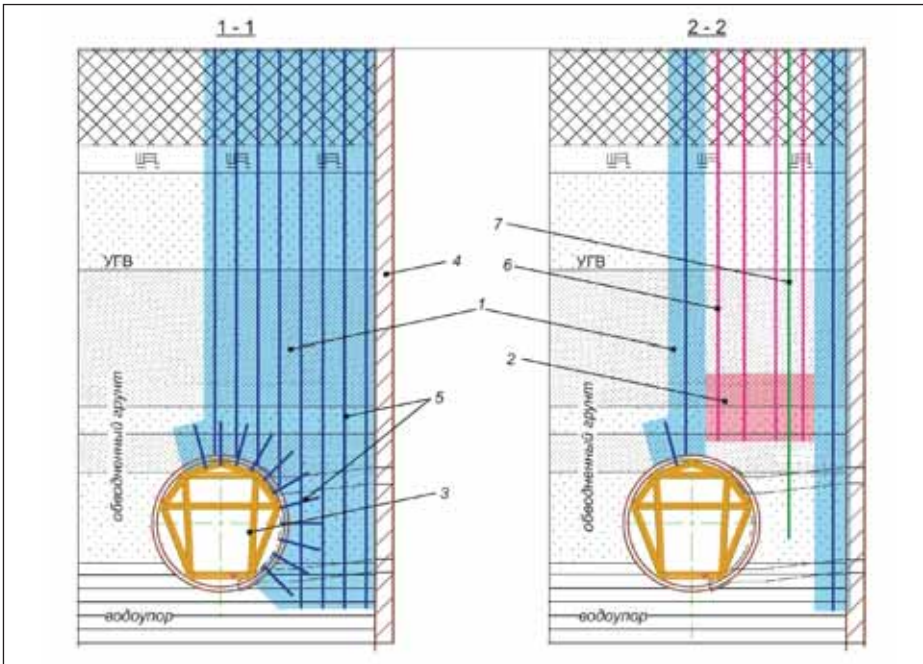


Рис. 4. Замораживание грунтов вокруг сбойки комбинированным способом (разрезы): 1 – ледогрунто-вое ограждение от рассольных колонок; 2 – ледогрунтоый массив, замороженный «сухим льдом»; 3 – раскрепляющие унтерцуги; 4 – ограждение котлована; 5 – колонки для рассольного замораживания; 6 – колонки для замораживания «сухим льдом»; 7 – гидронаблюдательная скважина

каждой сбойки герметичной «плиты» внутри рассольного контура из закрепленных грунтов толщиной 3 м в неустойчивых водонасыщенных грунтах.

Замораживание «сухим льдом» на каждом отсеке вели параллельно с рассольным способом так, чтобы активные периоды замораживания двумя способами заканчивались одновременно.

Горизонтальные сбойки на описываемом объекте устраивали закрытым способом на глубине 20–25 м в неустойчивых водонасыщенных песках. Для исключения возможности выноса плывуна под давлением 0,2 МПа в выработку необходимо было создать вокруг нее герметичное ледогрунто-вое ограждение.

Второй этап замораживания – создание ледогрунтовой плиты над сбойкой – можно

было начинать, лишь зафиксировав подъем воды во внутриконтурной гидронаблюдательной скважине. Иначе на втором этапе вода в гидронаблюдательной скважине замерзла бы и контроль сплошности ледогрунтового контура был бы потерян.

Если отказаться от замораживания массива «сухим льдом» и второй этап замораживать рассолом, то, во-первых, это увеличит общий срок замораживания в 1,5–2 раза; во-вторых, в результате увеличения замороженного объема грунта возрастет давление на стены котлована и обделку тоннеля, так как выполнить зональное замораживание рассолом практически невозможно, и, в-третьих, это приведет к увеличению числа работающих холодильных установок.

Использование в качестве холодоносителя гранулированного твердого диоксида уг-

лерода («сухого льда») позволяет значительно сократить сроки активного замораживания (в 4–5 раз) по сравнению с традиционным рассольным способом, что позволяет исключить общее увеличение сроков замораживания. Замораживание грунтов осуществляется зонально, что исключает пучение грунтов и снижает давление на сооруженные конструкции.

Кроме того, при случайном повреждении замораживающей колонки, попавшей в зону проходки, колонку срезают, снизу к ней приваривают доннышко и замораживание продолжают. В то же время при рассольном способе есть угроза выпуска рассола, циркулирующего в системе, в грунт (до 20 м<sup>3</sup>), что чревато размораживанием грунта. Использование в дальнейшем поврежденной колонки исключается. В связи с изложенным необходимость двухэтапного замораживания – сначала контурное (до обнаружения подъема воды в гидронаблюдательной скважине), а затем создание закрепленного массива над выработкой «сухим льдом» – оправданно.

С целью одновременного замораживания рассолом как с поверхности, так и из тоннеля, были смонтированы две рассольные сети, обслуживающие верхние и нижние колонки для каждого тоннеля, при этом замораживающие станции располагали на поверхности (рис. 5).

Чтобы пропустить прямой и обратный рассолопроводы под землю, сквозь каждый тоннель бурили по две магистральные скважины. Бурение сквозь тоннель чревато выпуском в тоннель плывуна, поэтому работы выполняли в следующем порядке:

- интервал от поверхности до контакта с обделкой тоннелей бурили долотом D395 с последующей посадкой трубы диаметром 325 мм; в трубе выполняли подбашмачную цементацию;

- выполняли алмазное бурение диаметром 250 мм с разбуриванием цементного камня в трубе диаметром 325 мм и железобетонной обделки тоннеля;

- в скважину опускали трубу диаметром 219 мм из тоннеля, ее закрепляли прижимной пластиной; далее выполняли цементации между трубами диаметром 325 и 219 мм;

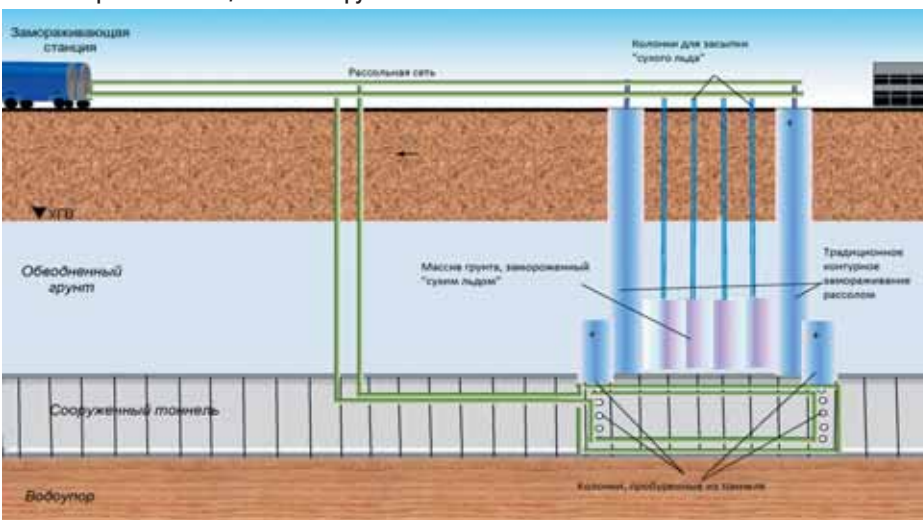
- в прижимной пластине вырезали отверстие диаметром 120 мм; затем в скважину опускали трубу диаметром 114 мм, которую приваривали к прижимной пластине и выполняли цементации между трубами диаметром 219 и 114 мм.

Для удобства сооружения ходков на участках тоннелей в створах сбойки были заложены чугунные кольца. С целью исключения возможности деформации обделки все железобетонные и чугунные кольца тоннелей, расположенные вблизи котлована, были раскреплены временными деревянными унтерцугами.

Несмотря на благополучное выполнение работ по замораживанию на объекте, описанная система имеет ряд недостатков:

- сложность и опасность бурения магистральных скважин сквозь обделки тоннелей;

Рис. 5. Рассольная сеть для одновременного обслуживания замораживающих колонок, пробуренных как с поверхности земли, так и из сооруженного тоннеля





- сложность монтажа рассольной сети в тоннеле, связанная с наличием большого числа унтерцугов;

- сложность обслуживания замораживающих колонок в тоннелях, так как спуск в тоннели находился на расстоянии около 500 м от участка замораживания.

И, наконец, главным недостатком рассматриваемой системы замораживания является то обстоятельство, что нередко ограждающие конструкции котлованов негерметичны, как это было на описываемом объекте. Чтобы остановить поступление воды в котлован, в его лотке были устроены вертикальные дренажные трубки, выведенные по высоте до поверхности земли, чтобы вода установилась на отметке уровня грунтовых вод. Кроме того, в тоннелях между чугунными тубингами потребовалось зачеканить швы с целью устранения каплежидкости. Без этих мероприятий была опасность искусственного движения воды в грунте, препятствующего процессу замораживания.

И еще одна интересная с точки зрения классики искусственного замораживания грунтов особенность: как известно, подъем воды во внутриконтурной гидронаблюдательной скважине происходит потому, что при смыкании ледогрунтового ограждения давление воды в контуре возрастает. Однако если недостаточно хорошо загерметизировать межтубинговые швы в кольцах тоннеля, расположенных под замораживающим контуром, то при увеличении давления вода может полностью или частично разгрузиться и в тоннель. И тогда вместо подъема уровня воды в гидронаблюдательной скважине можно зафиксировать его спуск, или, того хуже, не получить ни то, ни другое.

Описанный опыт двух объектов позволяет сформулировать следующие выводы.

1. Для перекрытия притоннельной зоны теплопритока приходится бурить замораживающие скважины, неизбежно нарушая обделку тоннеля.

2. Следует исключить опасность вывала пльвуна в тоннель при бурении сквозь его обделку и при этом обойтись без «телескопа» из труб.

3. Необходимо исключить искусственно созданное движение грунтовых вод в зоне замораживания.

4. Нежелательно наличие рассольной сети в тоннеле из-за трудности ее обслуживания.

5. Необходимо минимизировать давление замороженного массива на кольца тоннеля.

Найти оптимальный вариант замораживания грунтов для сооружения сбоек, удовлетворяющий всем перечисленным требованиям, удалось на третьем объекте.

**Объект № 3. Замораживание сбоек на примыкании к водоотливной установке на перегоне от ст. «Каховская» до ст. «Проспект Вернадского» Большой кольцевой линии Московского метрополитена (2021 г.)**

Водоотливная установка (ВОУ) на этом объекте представляла собой ствол, пройденный с использованием специализированного стволопроходческого комплекса Herrenknecht VSM

7800/5600. Из ствола к пройденным тоннелям потребовалось устроить две сбойки в водонасыщенных песках. Задача осложнялась отсутствием под тоннелями водоупорных глин. В таких случаях создать ледогрунтовый контур вертикальными замораживающими скважинами невозможно. Для обеспечения безопасного ведения горнопроходческих работ обычно создают массив из замороженного грунта.

Было принято решение провести зональное замораживание массива грунтов вертикальными скважинами с помощью гранулированного «сухого льда» (рис. 6), разбуривая насквозь участки пройденных тоннелей, попадающих в зону сооружения сбоек.

Ключевой явилась идея о предварительной, до начала буровых работ, забутовке участков тоннелей, расположенных в зоне ледогрунтового массива.

Во-первых, это позволяет бурить замораживающие скважины с поверхности земли сквозь тоннель одним диаметром долота и не опасаться выпуска пльвуна в тоннель; во-вторых, это уменьшило влияние внутритоннельной вентиляции на процесс замораживания грунтов, а также исключило каплежидкости в зоне замораживания; в-третьих, забутовка сыграла роль раскрепляющих «унтерцугов» на время замораживания.

Необходимо подчеркнуть, что «забуть» не предполагает завалить участки тоннелей мешками с песком. Перед началом бурения участки тоннелей плотно выкладывали пеноблоками, закрепленными цементным раствором. Важно было, чтобы не оставались воздушные полости для возможности вывала

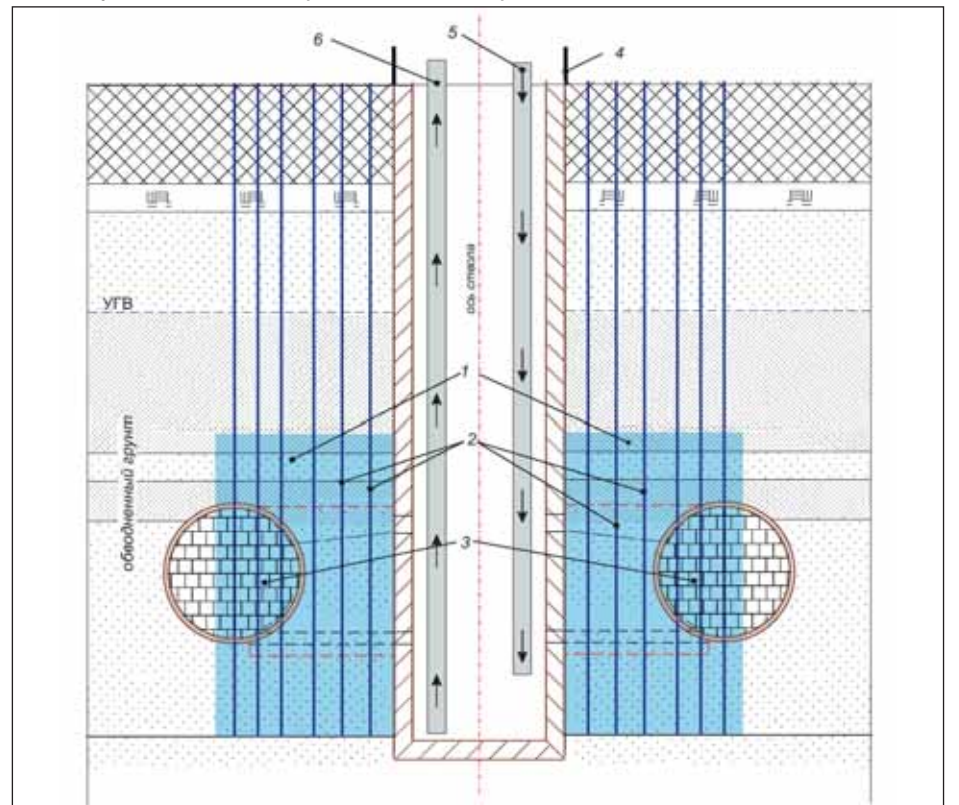
в тоннель пльвуна или бурового раствора. По торцам устраивали железобетонные перегородки толщиной 1 м. Участки забутовки должны были быть шире на 2 м с каждой стороны зоны бурения скважин, чтобы скважины в результате возможных отклонений при бурении не вышли бы за пределы забутовки.

Выбор способа замораживания «сухим льдом» обусловлен тем, что при разработке грунта в сплошном ледогрунтовом массиве колонки, попадающие в зону проходки, неизбежно срезаются. Поддержание массива в замороженном состоянии для такого способа замораживания не представляет сложностей. Фрагмент колонки, мешающий сооружению сбоек, вырезают, при этом к верхней части колонки приваривают доньшко и засыпку льда в надсводную зону сбоек продолжают, а в нижнюю часть лед засыпают непосредственно из выработки. При замораживании рассолом для поддержания ледогрунтового массива в подлотковой зоне сбоек пришлось бы монтировать дополнительную рассольную сеть.

Способ замораживания грунтов с помощью гранулированного «сухого льда» применяется в подземном строительстве с 1999 г., в основном, для ликвидации различных осложнений и аварийных ситуаций [2, 3, 4]. На указанном объекте впервые этот способ был применен как самостоятельный для замораживания грунтов вокруг межтоннельных сбоек.

Принцип замораживания «сухим льдом» заключается в том, что твердый криоагент за счет тепла, поступающего из грунта, сублимирует, т. е. переходит из твердого состоя-

**Рис. 6. Замораживание грунтов вокруг сбоек массивом при отсутствии подстилающего водоупора:** 1 – ледогрунтовый массив, замороженный «сухим льдом»; 2 – колонки для засыпки «сухого льда»; 3 – забутованные участки тоннелей; 4 – ограждение ствола; 5 – приточная вентиляция; 6 – вытяжная вентиляция



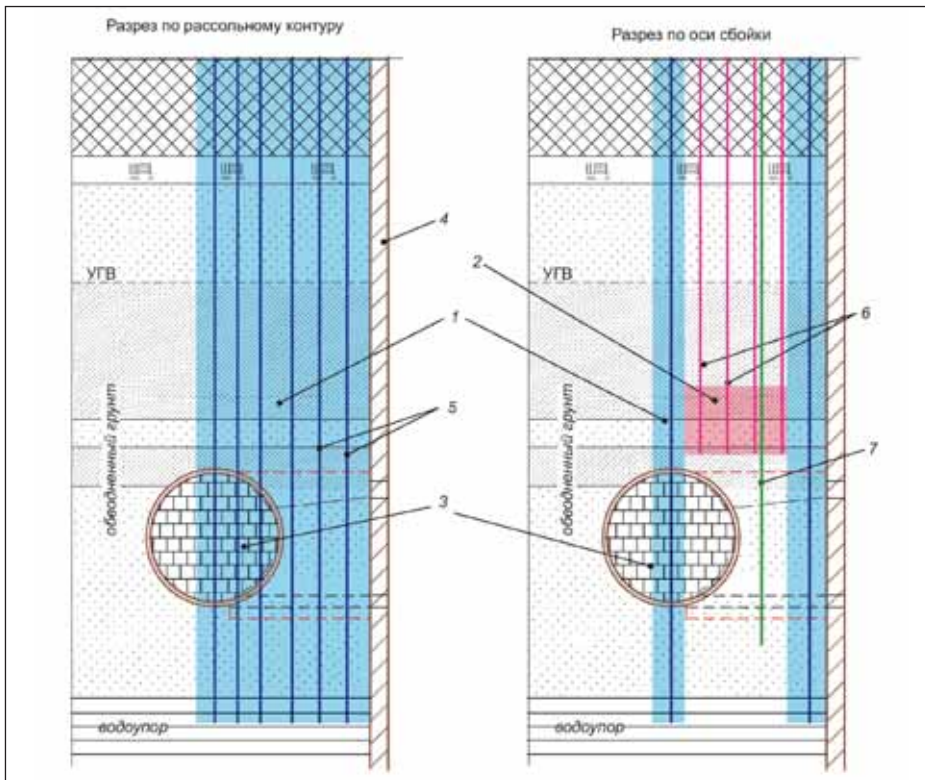


Рис. 7. Рекомендуемый вариант замораживания: 1 – ледогрунтовое ограждение от рассольных колонок; 2 – ледогрунтовый массив, замороженный «сухим льдом»; 3 – забутованный участок тоннеля; 4 – ограждающая конструкция выработки; 5 – колонки для рассольного замораживания; 6 – колонки для замораживания «сухим льдом»; 7 – гидронаблюдательная скважина

ния в газообразное, минуя жидкое, при этом температура сублимации «сухого льда» составляет минус 78 °С.

По мере сублимации в колонке интенсивно накапливается газообразный криоагент, который за счет увеличения давления поднимается по замораживающей колонке на поверхность и уходит в атмосферу, осуществляя тем самым отбор тепла из массива грунтов. При поддержании заданного уровня криоагента в колонке создаются условия для непрерывного замораживания грунтов до заданных размеров.

Во все замораживающие колонки «сухой лед» засыпали от забоя скважины, расположенного на 3 м глубже лотка сбойки в разработке, до глубины на 5 м выше свода, при этом 2 м рассматривались как «зона испарения». Через каждый час, по мере испарения, подсыпали «сухой лед» до заданного уровня.

Следует обратить внимание на безопасность производства работ при замораживании «сухим льдом». Во время их производства категорически запрещается спуск людей в неперетравливаемые выработки, расположенные ниже поверхности земли и находящиеся в радиусе 50 м от площадки замораживания.

Спуск людей возможен при условии наличия в выработке приточно-вытяжной вентиляции со скоростью движения воздуха не менее 0,5 м/с с учетом того, что углекислый газ, образующийся в процессе сублимации твердого диоксида углерода, тяжелее воздуха и скапливается в пониженных точках выработки. Работа вентиляции должна быть непрерывной, при этом необходимо иметь резервный вентилятор на случай аварийной остановки.

Так как ствол был пройден механизированным комплексом и представлял собой дополнительный источник теплопритока, были пробурены замораживающие скважины по периметру свола во избежание движения грунтовых вод вдоль его обделки. На будущее выработки, предусматривающие сооружение в них соединительных сбоек, по возможности лучше также проходить с предварительным замораживанием грунтов.

При такой технологии работ нет необходимости монтировать в тоннелях в зонах сооружения сбоек чугунные кольца. Целесообразно оставить железобетонные тубинги с заранее смонтированной металлоизоляции.

### Выводы и заключение

На основе приобретенного опыта по замораживанию грунтов вокруг межтоннельных сбоек в неустойчивых водонасыщенных грунтах рекомендуется следующий алгоритм выполнения этих работ.

1. Забуть, плотно уложив пеноблоками, участки тоннелей, попадающие в зону ледогрунтового контура или массива над сбойками.

2. Оптимальным является комбинированный способ замораживания (рис. 7): сначала вокруг контура разработки необходимо создать ледогрунтовое ограждение, контролируемое внутриконтурной гидронаблюдательной скважиной, затем над сводом сбойки заморозить массив (плиту) толщиной 3–4 м. Способ создания ледогрунтового массива рекомендуется применять лишь в условиях отсутствия под тоннелями водоупора больше чем на 10 м по глубине, поскольку при замо-

раживании грунтов массивом теряется контроль его сплошности, так как отсутствует возможность зафиксировать подъем воды в гидронаблюдательной скважине.

3. Рассольный контур должен располагаться вокруг контура разработки сбойки на удалении не менее чем на 1 м. При этом в каждом кольце тоннеля во избежание потери его несущей способности следует располагать не более одного ряда скважин с шагом не менее 1 м.

4. Бурение всех скважин следует вести с поверхности земли сквозь тоннели.

5. Рассольные колонки, примыкающие к обделке свола или котлована и попадающие в зону проходки, следует срезать. К верхней части колонки необходимо приварить донышко, опрессовать и запустить в работу; нижнюю часть освободить от рассола и использовать для засыпки «сухого льда».

6. При замораживании грунтов «сухим льдом» необходимо смонтировать в выработке приточно-вытяжную вентиляцию.

7. Во время проведения работ по сооружению сбойки забутовку тоннелей следует постепенно демонтировать.

8. По окончании работ необходимо срезать колонки, образующие рассольный контур; к верхним приварить донышки, заполнить все колонки цементным раствором; зазоры между колонками и обделкой тоннеля пронагнать цементным раствором сквозь приваренные к обделке тоннеля пластины.

### Список литературы

1. Тараненко И. Н., Никифоров К. П., Киселев В. Н., Делпаны Е. А. Применение искусственного замораживания грунтов при сооружении межтоннельной сбойки Серебрянорских тоннелей // Метро и тоннели. 2008. № 2. С. 20–23.
2. Никифоров К. П., Киселев В. Н., Делпаны Е. А. Применение твердого холодоносителя («сухого льда») для искусственного замораживания грунта // Подземное пространство мира. 2000. № 3. С. 24–28.
3. Плохих В. А., Никифоров К. П., Киселев В. Н., Делпаны Е. А. Применение твердого холодоносителя, «сухого льда» для зонального замораживания грунтов на строительстве Лефортовского тоннеля // Метро и тоннели. 2001. № 4. С. 13–15.
4. Киселев В. Н., Делпаны Е. А. Искусственное замораживание грунтов // Метро и тоннели. Спецвыпуск, 2003, январь. С. 18–23.

### Ключевые слова

Забутка тоннелей, замораживание грунтов, ледогрунтовое ограждение, ледогрунтовый массив, межтоннельные сбойки, «сухой лед».

*Tunnel plugging, soil freezing, ice-ground fencing, ice-ground massif, inter-tunnel breakers, «dry ice».*

### Для связи с авторами

Делпаны Елена Александровна  
deplani.ea@mosinzhproekt.ru  
Кивлюк Валерий Петрович  
info@mosinzhproekt.ru  
Конюхов Дмитрий Сергеевич  
gidrotehnik@inbox.ru



# ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА СВАИ С УШИРЕНИЕМ

Д. Ю. Чунюк, Чан Ван Хунг, С. М. Сельвиян, НИУ МГСУ

Буронабивные сваи используются для укрепления грунта и соединения с фундаментом для обеспечения устойчивости проекта. Это продвинутый метод, который может поддерживать большие конструкции на мягком грунте. В статье приведены инженерно-геологические изыскания, выполненные во Вьетнаме. Используется метод конечных элементов (МКЭ) с программным обеспечением Plaxis 3D-Foundation.

Нагрузка на буронабивную сваю, с уширением вдоль тела сваи, увеличивается от 13,4 до 19,5 % по сравнению с буронабивной сваем круглого сечения с таким же общим объемом и одинаковых осадках.

Нагрузка на буронабивную сваю с уширением вдоль тела сваи увеличивается от 13,4 до 14,5 % по сравнению с обычной буронабивной сваем с таким же объемом бетона.

**Б**уронабивные сваи – один из самых широко используемых конструктивных решений фундаментов, применяемых проектировщиками для высотных домов, в проектах с большими нагрузками, мостостроении и для зданий, расположенных на слабых грунтах. Благодаря тому, что они способны выдерживать большие нагрузки, не воздействуя на соседние здания при сооружении фундаментов, буронабивные свайные фундаменты все чаще используются в гражданских, промышленных и мостовых и дорожных проектах во Вьетнаме. Инженерно-геологические условия страны в основном представлены слабыми грунтами, поэтому многие инженеры работают над оптимизацией сечения буронабивной сваи для увеличения их несущей способности. Однако исследований буронабив-

ных свай, способных расширять тело сваи для увеличения несущей способности по боковой поверхности и уменьшения объема бетона, не проводилось. Исследование типа буронабивной сваи с указанными выше характеристиками – одна из важнейших задач.

Во Вьетнаме уже более десяти лет буронабивные сваи широко применяются в строительстве. В настоящее время подсчитано, что ежегодно там производится около 50–70 тыс. м диаметром 0,8–2,5 м стоимостью около 1300–1400 млрд донгов.

Было проведено много научных исследований по определению несущей способности буронабивных свай [1–7] (рис. 1а), буронабивных свай с уширенной пятой [8–10] (рис. 1б). Тем не менее, не было никаких научных работ или исследований по изучению работы свай с увели-

Рис. 1. Буронабивные сваи: а – свая; б – свая с уширенной пятой; в – с увеличенным поперечным сечением по телу и основанию сваи

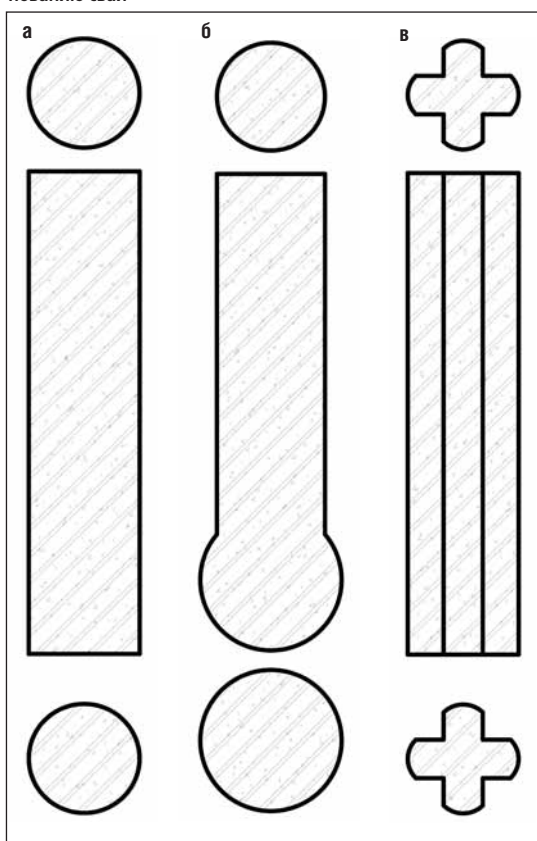


Рис. 2. Модуль новых буронабивных свай

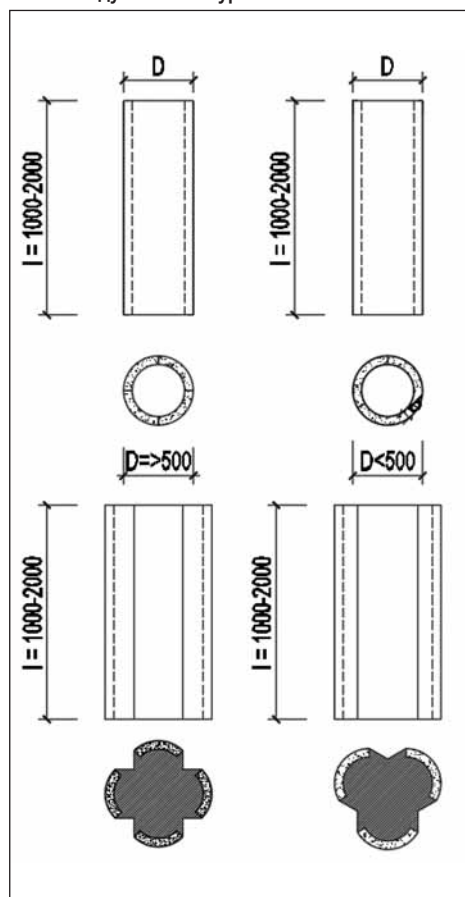
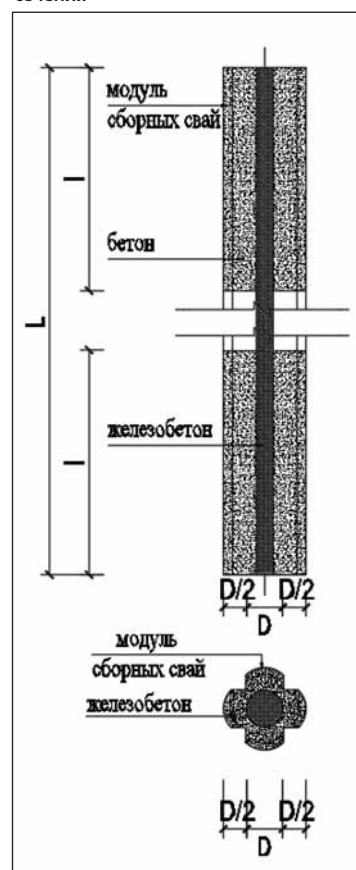


Рис. 3. Детальная структура свайного сечения



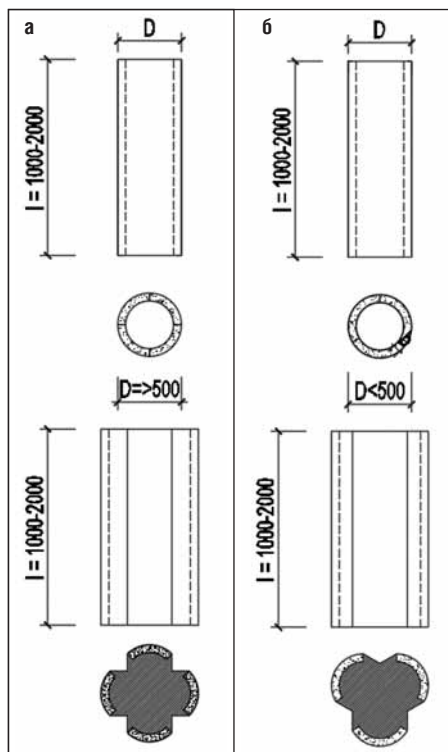


Рис. 4. Модуль свайной оболочки: а – модуль 1; б – модуль 2

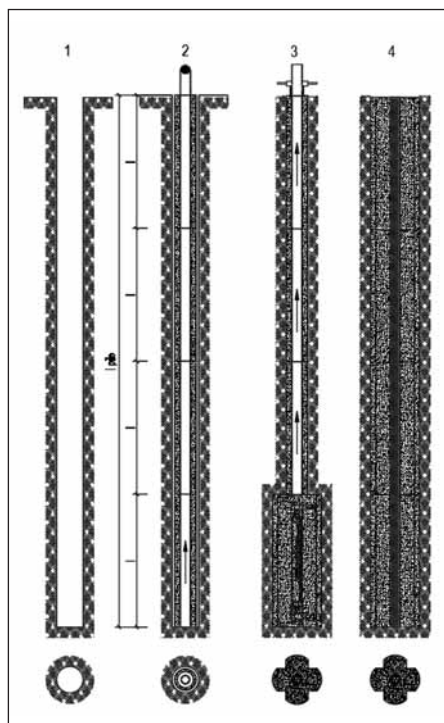


Рис. 5. Схема строительства: 1 – модульные железобетонные трубы; 2 – скважинное заполнение; 3 – комбинация приборов и арматурных свай; 4 – модуль сваи буронабивной

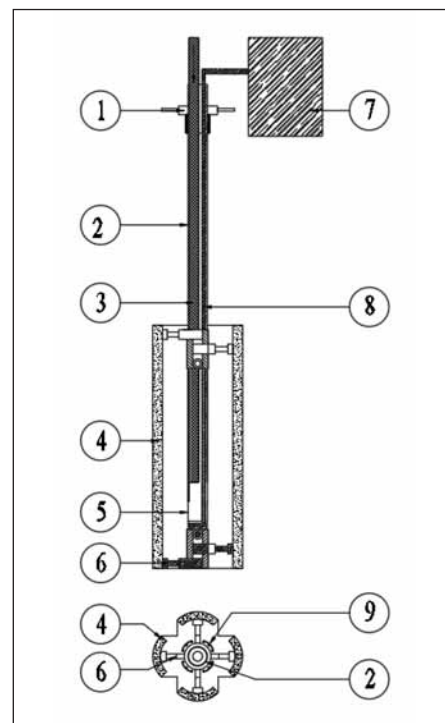


Рис. 6. Модуль бетонного строительного оборудования из буронабивной сваи с уширением: 1 – устройство для преобразования вращательного движения в возвратно-поступательное; 2 – стальная труба; 3 – труба для заливки бетона; 4 – бетонная планка (модульные железобетонные трубы); 5 – бетонный выход; 6 – гидравлическое оборудование; 7 – базовая машина; 8 – труба гидравлического масла; 9 – армированные сваи

Таблица 1

Слой №	Описание грунта	$\gamma_{sat}$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_{unsat}$ , кН/м <sup>3</sup>	C, кПа	$\phi$	E, кПа	v
1	Слой глины	18	18	15	12°	15×10 <sup>3</sup>	0,3
2	Слой песчаных грунтов	20,0	20,0	30,0	30°	30×10 <sup>3</sup>	0,3

(\*)  $\gamma_{sat}$  – удельный вес грунта под поверхностью воды;  $\gamma_{unsat}$  – удельный вес грунта над поверхностью воды

Таблица 2

#### Свая (модель упругости)

Свая		Длина, м	$\gamma$ , кН.м <sup>3</sup>	Диаметр	Макс. нагрузка	E, кПа	v	Объем сваи, м <sup>3</sup>
1	Круглая свая (вариант 1)	10	25	0,418	По Plaxis	3E7	0,2	1,375
2	Расширения вдоль корпуса сваи (вариант 2)	10	25	0,500	По Plaxis	3E7	0,2	1,375

Таблица 3

#### Расчет максимальной несущей способности сваи по Plaxis 3D

№	Вариант	Объем, м <sup>3</sup>	Макс. нагрузки, кН	Осадка, мм
1	вариант 1	1,375	295	–100
2	вариант 2	1,375	335	–100

ченным поперечным сечением по телу и основанию сваи (рис. 1в). В данной статье авторы сосредотачиваются на исследовании несущей способности этого типа буронабивной сваи для оценки несущей способности, а также экономии бетона буронабивной сваи.

#### Описание конструкции сваи с уширением

Конструкция буронабивной сваи с уширением состоит из двух частей, объединенных в единую буронабивную сваю. Изготовление сваи проходит в несколько этапов. В основном буронабивные сваи с уширением производятся и конструируются как традиционные буронабивные сваи. Однако есть различие в том, что для буронабивных свай с уширением имеется эффект расширения тела сваи, расширения площади опирания сваи. Тем самым увеличивается несущая способность сваи по сравнению с буронабивной свай с тем же объемом бетона.

После процесса очистки скважины, нам нужно добавить:

- часть 1: железобетонные модули, которые создают новую границу для буронабивных свай;
- часть 2: железобетонные буронабивные сваи.

Модуль показан на рис. 2 и 3.

Задача модуля обшивки сваи состоит в том, чтобы создать край сваи. Основание сваи имеет большую площадь, чем пло-



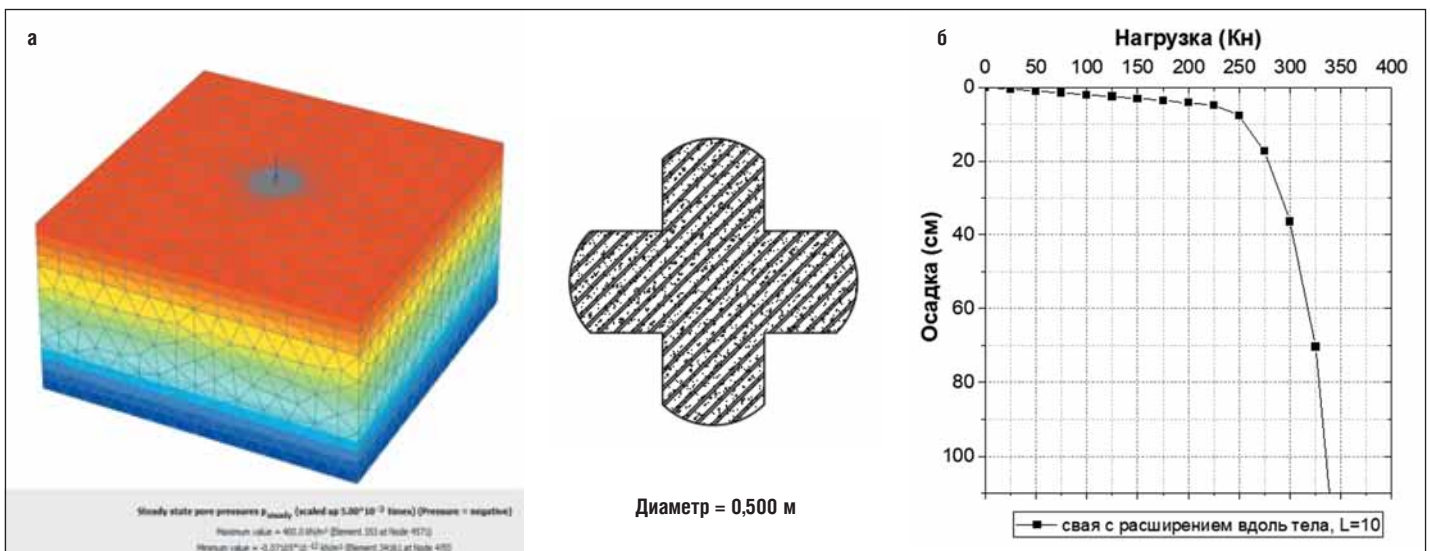
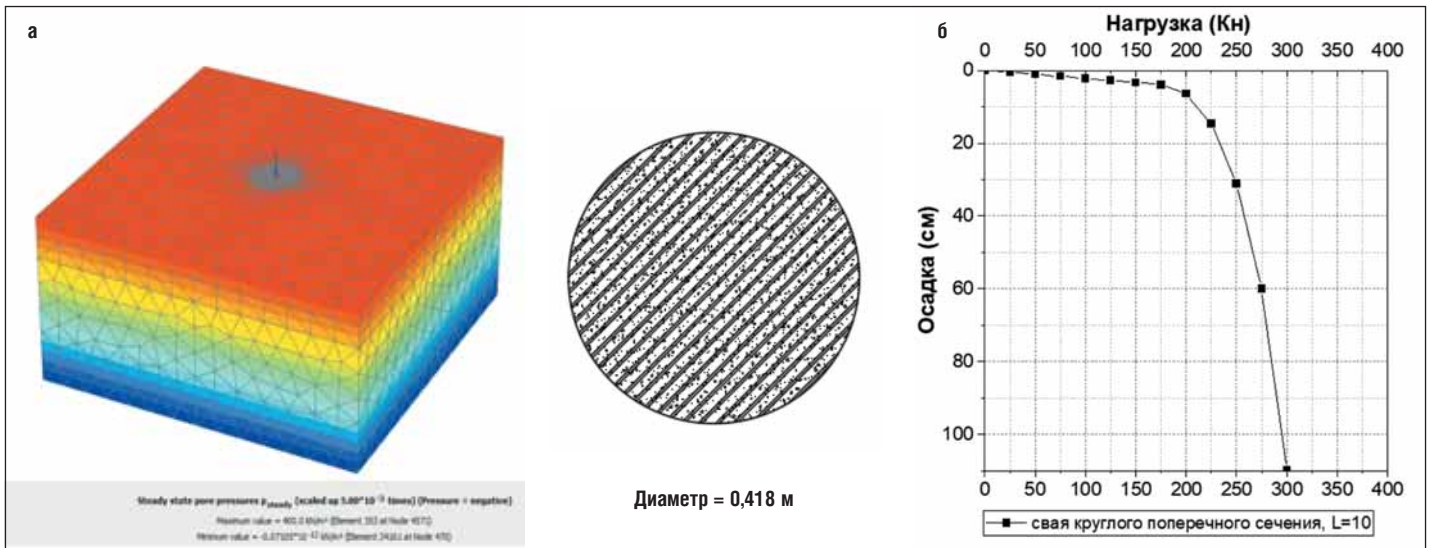


Таблица 4

щадь отверстия, а также укрепляет грунт в том месте, где она должна расширяться. Детали модуля свайной оболочки представлены на рис. 4.

Работа происходит в четыре этапа (рис. 5). Бутонабивные сваи устраиваются в грунте при помощи специальных бутонабивных машин. Бутонабивные машины обычно могут бурить грунт вплоть до 50 м (это первый этап), затем устанавливают базовое устройство расширения и продолжают расширять край (это второй этап), затем при смене насадки заполняют сваю (это третий этап). Ещё одно достоинство в использовании данного вида свай: во время их установки практически не возникает вибрации и шума, что удачно сказывается на устойчивости грунта. Способ бурения непосредственно зависит от состояния слоёв грунта. Если место, где возводится здание, имеет под собой неустойчивый грунт, такой как песок, ил, грунтовые воды, гравий и т. п., то бутонабивные сваи в обязательном порядке подлежат укреплению стальным каркасом или другими конструкциями. После того как свая будет изготовлена на месте, поверх её тела заливается

№	Осадка, мм	Нагрузки, т		Нагрузка, %
		Вариант 1 (Д 0,418 объем: 1,375 м³)	Вариант 2 (Д 0,500 объем: 1,375 м³)	
1	2	3	4	$5 = (4-3)/3 \times 100\%$
1	0	–	–	–
2	20	233	279	19,5
3	40	258	303	17,5
4	60	275	317	15,4
5	80	285	328	15,1
6	100	295	335	13,4

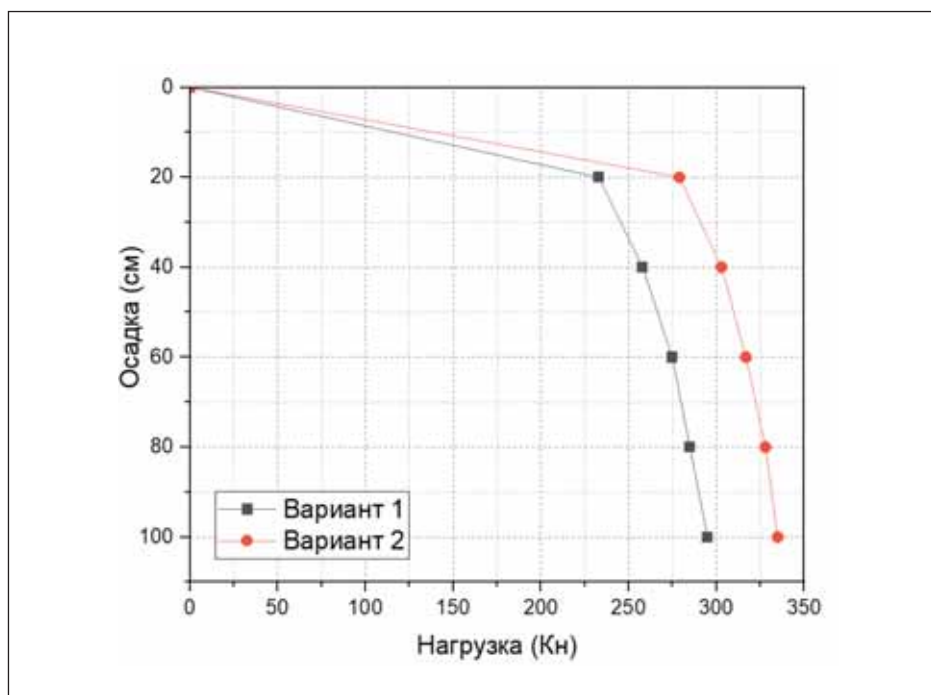


Рис. 9. Кривые зависимости осадки сваи от нагрузки, варианты 1 и 2

цемент (это четвертый этап), что ещё больше укрепляет весь фундамент.

После установки оборудования производится армирование и установка модуля свайной оболочки (рис. 6). Она загружается в отверстие краном, затем гидравлическая система (7) будет работать, чтобы подать гидравлическое масло в гидравлическое оборудование (6), чтобы нажать на железобетонные оболочки (4) снаружи. В то же время бетон заливается из бетононасосов по трубам (3) для опускания сваи через ворота (5). Там, где сваи вытянуты, они будут заполняться бетоном до тех пор, пока домкратное устройство не увеличит их до проектного размера, а бетон также не будет заполнен. Затем заводится гидравлическое устройство в стальную трубу (2) и используется движущееся устройство (1), чтобы натянуть гидравлическое устройство на следующий модуль для дальнейшего расширения и заливки бетона. Так заканчивается строительство одной сваи.

## Материалы и методы

### Материалы

При решении этой задачи были использованы данные предпроектных испытаний двух буронабивных свай статической вдавливающей нагрузкой.

В соответствии с изложенным выше, было проведено моделирование взаимодействия одиночной сваи с окружающим грунтом, обладающим характеристиками, приведенными в табл. 1 по данным геологического обследования условий строительства во Вьетнаме.

Расчетная область массива грунта для сваи длиной  $L = 10$  м, диаметром  $d = 0,5$  м, толщина сжимаемого массива – 20 м, который имеет размеры  $20 \times 20$  м.

### Методы

На самом деле, сваи часто проходят через множество слоев грунта с различными фи-

зическими свойствами. В данной статье представлен расчет несущей способности сваи методом конечных элементов (МКЭ). Используя программное обеспечение Plaxis 3D, указанные выше расчеты двух случаев с данными из табл. 2.

## Результаты исследований

### Результаты

Показанные на рис. 7 и 8 графики «нагрузка-осадка», полученные в результате расчетов с использованием программы PLAXIS 3D с использованием упругой и упругопластической модели грунтового основания, в заданном диапазоне изменения вертикальной нагрузки дают близкий результат (табл. 3). Это говорит о возможности ее применения для решения практических и исследовательских задач, связанных с вопросами взаимодействия свай с грунтовым основанием.

### Анализ результатов

В результате анализа, выполненного программным обеспечением Plaxis, можно сделать вывод: при использовании моделей свай (вариант 2), сечение которых расширяется вдоль корпуса сваи, увеличивается несущая способность (с 13,4 до 19,5%) по сравнению с обычными сваями (вариант 1) с таким же общим объемом бетона (табл. 4, рис. 9).

### Заключение

Применение вышеуказанных результатов на практике позволит сократить время строительства, сэкономить сырье для строительства свай и снизить стоимость проекта, повысить эффективность использования капитала.

Проведенное выше исследование послужит предпосылкой для исследования авторами несущей способности группы буронабивных свай с расширением вдоль

тела сваи и для одновременной разработки модели конструкции протяженных буронабивных свай с расширением вдоль тела сваи.

### Ключевые слова

Буронабивная свая, несущая способность, свайные фундаменты, устройство уширения сваи.

### Список литературы

1. Григорян А. А., Иванов Е. С. Несущая способность и способ устройства свай в лессовых грунтах. Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, 1973.
2. Uikin V. S. Calculation of a load capacity of the pored friction piles and selection of pile length by a safety factor. Russian Journal of Transport Engineering, 2017, Vol. 4, No. 2. Available at: <https://t-s.today/PDF/02TS217.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/02TS217.
3. Зерцалов М. Г., Знаменский В. В., Хохлов И. Н. Об особенностях расчета несущей способности буронабивных свай в скальных массивах при действии вертикальной нагрузки // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2018. – № 1.
4. Никитенко М. И., С. Б. Моради, Черношей Н. В. Методы определения несущей способности буронабивных свай по технологии SFA // Строительная наука и техника. – 2011. – № 1. – С. 43–49.
5. Tao W. A. N. G., Ma Ye. Study on over-length drilled pile bearing behavior under vertical load. Rock and Soil Mechanics, 2005, pp. 1053–1057, 26 7
6. Duncan, J. Michael; Evans J.R, Leonard T.; Ooi, Phillip S K. Lateral load analysis of single piles and drilled shafts. Journal of geotechnical engineering, 1994, pp. 1018–1033.
7. Леонтьев, А., Мальцев А. В., Исаев В. И. Разработка эффективного способа повышения несущей способности буронабивной сваи // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. – 2016. – С. 206–210.
8. Чахвадзе А. Г. Влияние уширенной пяты на несущую способность буронабивной сваи: диссертация ... кандидата технических наук : 05.23.02. – Москва, 1987. – 155 с.: ил.
9. Никитенко М. И.; Роговенко, В. В.; Серпов В. А. Несущая способность буронабивных свай с уширениями // Наука и техника. – 2002. – № 6. С. 23–27.
10. Соколов Н. С. Фундамент повышенной несущей способности с использованием буронабивных свай ЭРТ с многоступенчатыми уширениями // Жилищное строительство. – 2017. – № 9.

### Для связи с авторами

Чунюк Дмитрий Юрьевич

Chunyuk@mail.ru

Чан Ван Хунг

tranvanhung2009@gmail.com

Сельвиан Серафима Михайловна

SelviyanSM@yandex.ru





# УНИКАЛЬНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ТОННЕЛИ БУДУЩЕГО

## UNIQUE UNDERWATER TUNNELS OF THE FUTURE

Л. В. Маковский, к. т. н., профессор, МАДИ

В. В. Кравченко, к. т. н., доцент, МАДИ, кафедра мосты, тоннели и строительные конструкции

L. V. Makovsky, Prof. PhD, MADI

V. V. Kravchenko, PhD, MADI

Рассмотрены перспективы строительства ряда уникальных подводных транспортных тоннелей в нашей стране и за рубежом. Среди них тоннели через Берингов пролив, с материка на остров Сахалин, под Бохайским заливом в Китае, под Гибралтарским проливом между Испанией и Марокко, под Персидским и Финским заливами, под фиордами в Норвегии и др.

Длина этих тоннелей составляет от 10 до 100 км и более, глубина заложения – до 300 м от поверхности воды. В зависимости от конкретных топографических, инженерно-геологических, гидрологических и климатических условий строительство тоннелей предполагается щитовым способом или способом опускных секций. Сроки строительства тоннелей зависят от их длины и могут достигать 10–15 лет, а ориентировочная стоимость – от 20 до 50 млрд долларов.

Обращено внимание на основные проблемы, которые могут возникнуть при проектировании, строительстве и эксплуатации столь протяженных тоннелей. Отмечено, что для решения этих проблем необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований с привлечением инновационных компьютерных технологий. По результатам исследований должны быть разработаны нормативные документы, регламентирующие требования к объемно-планировочным, конструктивно-технологическим решениям, средствам экологической защиты и др. на всех этапах строительства и эксплуатации тоннелей.

*The prospects for the construction of a number of unique underwater transport tunnels in our country and abroad are considered. Among them are tunnels through the Bering Strait, from the mainland to Sakhalin Island, under the Bohai Bay in China, under the Strait of Gibraltar between Spain and Morocco, under the Persian and Finnish Gulfs, under fiords in Norway, etc.*

*The length of these tunnels is from 10 to 100 km or more, the depth of laying is up to 300 m from the water surface. Depending on the specific topographic, engineering-geological, hydrological and climatic conditions, the construction of tunnels is supposed to be done using a shield method or a method of lowering sections. The timing of the construction of tunnels depends on their length and can reach 10–15 years, and the estimated cost is from 20 to 50 billion dollars. Attention is drawn to the main problems that may arise in the design, construction and operation of such long tunnels. It is noted that in order to solve these problems, it is necessary to conduct theoretical and experimental studies with the involvement of innovative computer technologies. Based on the results of the research, regulatory documents should be developed that regulate the requirements for space-planning, design and technological solutions, environmental protection, etc. at all stages of construction and operation of tunnels.*

В настоящее время в мире эксплуатируется ряд крупнейших подводных транспортных тоннелей, среди которых Сейкан в Японии (53,9 км), Евротоннель между Англией и Францией (50,5 км), два последовательно расположенных тоннеля в Норвегии (5 и 14,3 км), под проливом Босфор в Турции (14,6 км) и др. [1, 2].

Дальнейшее развитие подводного тоннелестроения предусматривает перспективное строительство около 20 уникальных транспортных тоннелей под реками, заливами и фиордами.

Рассматриваются предложения по созданию тоннелей в ряде европейских стран, а также в Азии, Северной Америке и Африке.

При строительстве новых тоннелей будет широко использован богатый опыт подводного тоннелестроения и разработаны инновационные конструктивно-технологические решения, направленные на повышение темпов и снижение стоимости строительства.

Наряду с щитовой проходкой с применением универсальных ТПМК, намечено использование разновидностей способа опускных секций, заглубляемых под дном пересекемой водной преграды, или «плавающих» ниже уровня воды и закрепляемых тросовыми оттяжками в дно или на понтоны [3].

Далее приведены краткие сведения о планах строительства подводных транспортных тоннелей в нашей стране и за рубежом.

### Планируемые тоннели

В России о подводных тоннелях заговорили в конце XIX, начале XX веков, когда появились предложения по строительству тоннелей под р. Невой в Санкт-Петербурге и под р. Москвой в Москве [4].

Однако ни один из проектов не был реализован.

В настоящее время в нашей стране эксплуатируются подводные транспортные тоннели под р. Амур в районе Хабаровска, под Морским каналом в Санкт-Петербурге под реками Невой и Москвой по трассе линий метрополитена.

Рассматриваются предпроектные материалы, касающиеся строительства Орловского

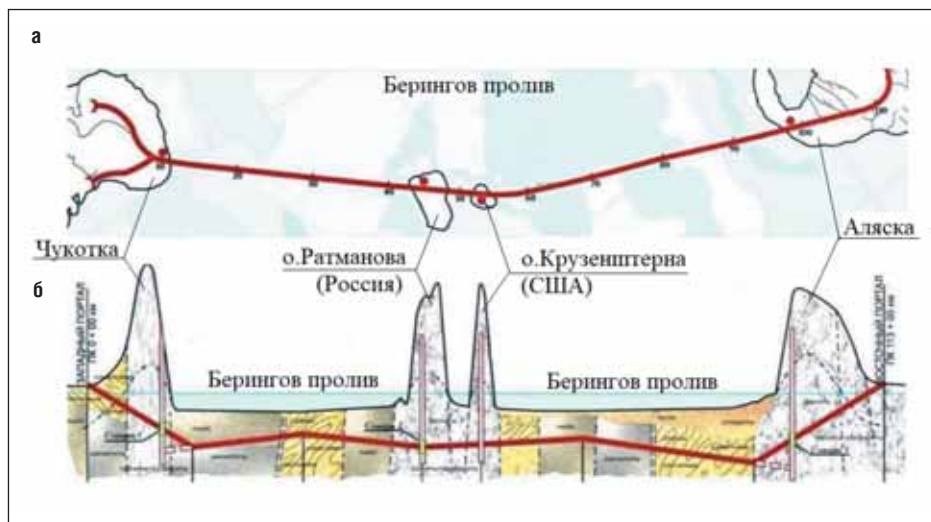


Рис. 1. План (а) и продольный профиль (б) проектируемого тоннеля под Беринговым проливом

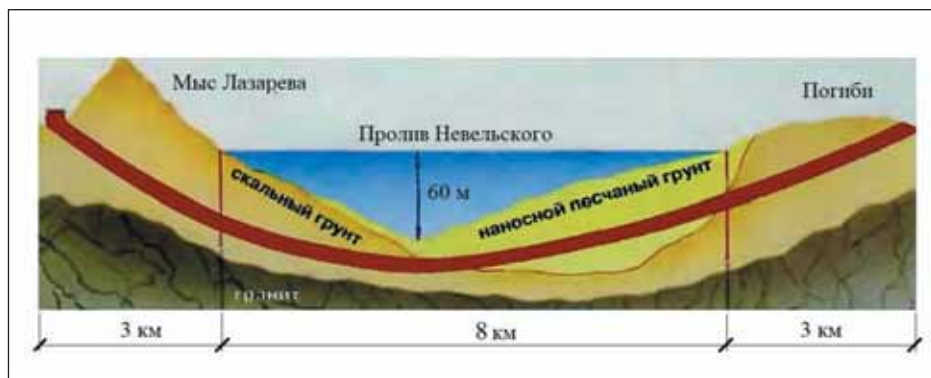


Рис. 2. Продольный профиль проектируемого тоннеля под проливом Невельского

тоннеля в Санкт-Петербурге, тоннеля под р. Леной в районе Якутска, под р. Енисей и др. [4].

Обсуждается целесообразность строительства крупнейшего железнодорожного тоннеля под Беринговым проливом, разделяющим территории России и США.

Группой ученых из России, США и Южной Кореи проведены исследования, касающиеся перспектив строительства межконтиненталь-

ной транспортной магистрали «Евразия – Северная Америка» с тоннелем под Беринговым проливом (рис. 1). Этот тоннель обеспечит наиболее короткий наземный путь Азия – Россия – Северная Америка и сократит сроки доставки грузов на 10–15 дней по сравнению с традиционными морскими путями. Ширина пролива в месте пересечения 84 км, при этом длина тоннеля составит 100–115 км.

Рис. 3. Схема расположения тоннеля под Бохайским заливом: 1 – обходная дорога; 2 – трасса тоннеля



Однако из-за наличия в проливе двух островов (Большой Рахманова и Малый Крузенштерна) тоннель разбивается на три отрезка длиной около 30 км каждый.

Вторым крупнейшим подводным тоннелем в России может стать переход пролива Невельского от мыса Лазарева на материке до мыса Погиби на Сахалине (рис. 2). Дно пролива сложено неоднородными, водонасыщенными песчано-глинистыми грунтами. Зафиксирована высокая сейсмическая активность – до 10 баллов по шкале Рихтера [5].

Проект тоннеля был разработан в конце 30-х годов XIX века, однако по экономическим причинам не был реализован.

В 1997 г. вновь вернулись к этому проекту. Были рассмотрены различные варианты перехода: мост, тоннель, дамба и паром. У моста на Сахалин имеются существенные недостатки: неблагоприятные климатические условия, сильные ветровые нагрузки, коррозия металлоконструкций в результате обмораживания морской водой. В связи с этим был принят тоннельный вариант, однако строительство так и не началось. Однако идея строительства тоннеля до сих пор актуальна и может быть реализована в России.

Разрабатывается проект грандиозного железнодорожного тоннеля длиной 127 км под Бохайским заливом (тоннель Далянь – Яньтай) в восточной части Китая (рис. 3) [5].

Население этого района, включая крупнейший г. Тяньцзинь, составляет около 140 млн чел.

На берегах залива расположены два крупных полуострова – Ляодун и Шаньдун (см. рис. 3), транспортная связь между которыми осуществляется по обходной дороге длиной 1500 км вокруг залива. Кроме того, между полуостровами курсирует паром, однако из-за его невысокой скорости переправа длится около 8 часов.

Для решения проблемы было намечено построить железнодорожный тоннель под дном пролива. Предусмотрена перевозка автомобилей на железнодорожных платформах, как в тоннеле под проливом Ламанш, что вызвано проблемами вентиляции. Специалисты полагают, что с вводом тоннеля в эксплуатацию экономия составит около 4 млрд долларов в год за счет сокращения расстояния, снижения выбросов вредных газов, уменьшения нагрузок на дороги и др.

Таким образом, вложенные в строительство 45 млрд долларов, Китай вернет за 11–12 лет. Строительство тоннеля намечено завершить после 2030 г.

Идея создания постоянной транспортной связи между Европой и Африкой существует с начала XX века (рис. 4). В соответствии с первоначально разработанными предпроектными предложениями предусматривалось строительство подводного тоннеля длиной 35 км под Гибралтарским проливом между Испанией и Марокко [5]. Две параллельные тоннельные выработки, пройденные щитовым способом на глубине до 370 м, должны соединяться поперечными сбойками через каждые 200 м.



В 70–80-е годы XX века вновь вернулись к идее реализации проекта. Проведенные геологоразведочные работы показали, что проходка тоннелей в самой узкой части пролива (14 км) невозможна из-за большой глубины воды (более 900 м), значительных тектонических нарушений и наличия участков неустойчивых глинистых грунтов.

В связи с этим швейцарская фирма Lombardi Engineering LTD разработала эскизный проект, в соответствии с которым полная длина тоннеля составит 38 км, из которых 28 км придется на подводную часть, заложенную под дном пролива на глубине 400 м.

Плановая пропускная способность перехода – 7–9 млн т грузов и 10–13 млн пассажиров.

Проведенные в 2018 г. новые исследования подтвердили возможность реализации проекта, а в 2021 г. был предложен вариант «плавающего» тоннеля.

В настоящее время Испания и Марокко намерены представить совместно разработанный проект, предусматривающий завершение строительства тоннеля до 2025 г. Длина тоннеля составит 36,8 км, из которых около 27 км пройдет под дном пролива; время поездки на скоростном поезде от Севильи до Танжера не превысит 1,5 часа. Ориентировочная стоимость строительства тоннеля – около 10 млрд евро.

Рассматривается вопрос о строительстве подводного тоннеля протяженностью 190 км под Персидским заливом, который соединит Иран и Катар и станет крупнейшим сооружением такого рода в мире.

В настоящее время оцениваются все возможные варианты тоннеля, в том числе, вариант совмещенного тоннеля для автомобильного и железнодорожного движения.

В течение нескольких последних лет изучаются предложения по строительству подводного железнодорожного тоннеля, называемого Ein Est Tunnel, под дном Финского залива для связи столиц Эстонии и Финляндии [5].

В зависимости от принятого варианта трассы длина тоннеля может составить 80–100 км, из которых 50–70 км будет приходиться на подводную часть. Глубина заложения тоннеля будет достигать 200 м от поверхности воды в заливе.

Предполагается строительство в заливе искусственного острова площадью 5–6 га, на котором разместится оборудование для проветривания и энергоснабжения тоннеля (рис. 5а).

По одному из вариантов намечено строительство двух параллельных тоннелей (рис. 5б) для скоростного движения грузовых и пассажирских поездов. Время поездки между Таллином и Хельсинки составит 20 мин.

Для проходки тоннелей предполагается задействовать 16 высокопроизводительных тоннелепроходческих щитовых комплексов. По предварительной оценке, стоимость строительства перехода может составить около 20 млрд евро; продолжительность строительства – пять–семь лет.

На сегодняшний день решение о начале строительства пока не принято.



Рис. 4. Топографическое расположение Европы и Африки

Крупнейшие инфраструктурные проекты по строительству подводных тоннелей под фьордами рассматриваются в Норвегии [5]. Наибольший интерес представляют «плавающие» тоннели. Две железобетонные трубы – тоннели для движения в каждом направлении будут зафиксированы стальными тросами, закрепленными либо на дне фьорда (рис. 6а), либо на массивных понтонах (рис. 6б), располагаемых друг от друга на значительном расстоянии, чтобы не мешать судоходству. Тоннели располагаются на глу-

бине порядка 30 м от поверхности воды в фьорде, где воздействия на тоннель волн и течений незначительны.

Строительство первого «плавающего» тоннеля намечено завершить к 2050 г.

Одним из наиболее дорогостоящих проектов в истории может стать тоннель через Цусимский пролив, что обеспечит постоянную связь Японии с материком. Возможны два варианта трассы: между Японией и Корейским полуостровом и между Японией и Россией. В последнем случае вначале необ-

Рис. 5. Проект искусственного острова для проветривания и энергоснабжения тоннелей (а) и поперечного сечения двух параллельных тоннелей между Таллином и Хельсинки (б)





Рис. 6. Проект подводных «плавающих» тоннелей в Норвегии, закрепленных на дне фиорда (а) или на массивных понтонах (б)

ходимо построить российский мост или тоннель на остров Сахалин [5].

В настоящее время рассматривается вариант трассы между городами Карацу в Японии и Пусан в Южной Корее, предусматривающий строительство двух тоннелей длиной 60 и 68 км, а от Карацу до острова Ики – мостового перехода. В тоннеле предусматривается совмещенное автомобильное и железнодорожное сообщение. Реализация проекта оценивается более чем в 150 млрд долларов. Ежегодная прибыль от функционирования тоннеля может составить около 5 млрд долларов. Строительство может занять 10 лет и более.

Разработан проект подводного железнодорожного тоннеля в Индии. Железные дороги пересекают всю страну и являются самыми протяженными на Азиатском континенте – 67 тыс. км. В день по ним перевозят более 20 млн человек. Новая железнодорожная линия протяженностью 500 км соединит города Мумбаи и Ахмадабад и пройдет вдоль побережья Индийского океана. По трассе в месте пересечения реки будет построен тоннель длиной 7 км.

Заслуживает внимания проект подводного тоннеля между Ирландией и Великобританией длиной около 90 км, заложенного на глубине 110 м ниже поверхности океана. По тоннелю будут курсировать автоматически

управляемые составы. Поездка между городами Дублин и Холахед займет менее 2 часов.

Строить тоннель намечено способом опускных секций. Стоимость проекта оценивается в 15 млрд фунтов.

Рассматриваются также предложения по строительству второго тоннеля под проливом Ламанш, железнодорожного тоннеля под дном Малаккского пролива (47 км) между Малайзией и Индонезией, двух тоннелей под р. Сеной в Париже и др.

### Заключение

Расширение масштабов подводного тоннелестроения и намечаемое строительство ряда уникальных тоннелей значительной протяженности обуславливают необходимость дальнейшего развития и совершенствования техники и технологии подводно-строительных работ, а также методов организации и управления тоннелестроительным производством.

В связи с этим важное значение приобретает выбор оптимального способа строительства тоннеля с учетом конкретных топографических, гидрологических, транспортных, экологических и экономических факторов.

С целью более рационального проектирования и строительства подводных тоннелей

необходимо создание автоматизированной информационной системы, содержащей банк данных по всем построенным тоннелям, компьютерный анализ которых позволит быстро оценивать вновь принимаемые инженерные решения путем их сопоставления с ранее реализованными.

Несмотря на то, что конструкции тоннелей и технология их возведения испытаны на практике, при проектировании и строительстве тоннелей в конкретных условиях возникают многочисленные проблемы технического и экологического характера, для решения которых необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований на моделях и в натуральных условиях.

В связи с намечаемым в нашей стране строительством крупных подводных тоннелей необходимо разработать программу проведения опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по разработке эффективных технических решений применительно к конкретным условиям строительства, на основе которых подготовить соответствующие нормативные документы, регламентирующие вопросы проектирования, строительства и эксплуатации подводных транспортных тоннелей.

### Ключевые слова

Подводный тоннель, «плавающий» тоннель, щитовой способ, способ опускных секций.

*Underwater tunnel, «floating» tunnel, shield method, lowering section method.*

### Список литературы

1. Маковский В.Л. Подводное тоннелестроение. М.: Транспорт, 1983. 182 с.
2. Маковский Л.В. Альтернатива щитовой проходке подводных тоннелей // Дороги. Инновации в строительстве. 2013. № 27. С. 158–161.
3. Маковский Л.В., Кравченко В.В. Подводные транспортные тоннели из опускных секций. М.: КНОРУС, 2017. С. 160.
4. Маковский Л.В. Перспективы развития подводного транспортного тоннелестроения. // Науки и техника в дорожной отрасли. 2007. № 4. С. 18–20.
5. Интернет-ресурсы:  
URL:Режим доступа <https://www.intercontinentalrailway.com/349578000315>, свободный – (дата обращения 17.04.2023);  
URL:Режим доступа <https://marafonec.livejournal.com/10220836.html?view=comments>, свободный – (дата обращения 17.04.2023);  
URL:Режим доступа <https://kremll.info/zachem-kitaj-stroit-samyj-dlinnyj-podvodnyj-tonnel-v-mire-127-km/>, свободный – (дата обращения 17.04.2023);  
URL:Режим доступа <https://oliverqueen92.livejournal.com/754011.html?noscroll>, свободный – (дата обращения 17.04.2023).

### Для связи с авторами

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





## ПАМЯТИ ДМИТРИЯ МИХАЙЛОВИЧА ГОЛИЦЫНСКОГО



**Коллектив кафедры тоннели и метрополитены Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I и правление Тоннельной ассоциации России с глубоким прискорбием сообщают, что 17 мая 2023 г. на 92-м году жизни скончался наш коллега, известный педагог и научный работник, крупный специалист в области транспортного тоннелестроения и освоения подземного пространства крупных городов, доктор технических наук, профессор Дмитрий Михайлович Голицынский.**

Трудовая биография Д. М. Голицынского была связана с любимым делом, которому он посвятил всю свою жизнь, пройдя многие ступеньки карьерного роста от рядового инженера до крупного ученого, заведующего кафедрой тоннели и метрополитены Петербургского государственного университета путей сообщения.

На протяжении многих лет Дмитрий Михайлович являлся одним из ведущих ученых страны в области транспортного тоннелестроения и подземного строительства. Под его руководством выполнены крупные исследования, связанные с теорией и практикой освоения подземного пространства и разработкой новых конструктивно-технологических решений при строительстве тоннелей и метрополитенов. Первые в нашей стране исследования по применению эффективных конструкций тоннельных обделок из набрызг-бетона были проведены в 1974–1980 гг. на Ленинградском метрострое под непосредственным руководством Д. М. Голицынского.

Докторская диссертация Дмитрия Михайловича заложила научные основы проектирования набрызг-бетонных обделок транспортных тоннелей в слабоустойчивых грунтах. Основные положения этой работы были включены в нормативные документы и справочную техническую литературу. Результаты диссертации внедрены при строительстве подземных выработок на Ленметрострое, Киевметрострое, Меградзорского железнодорожного тоннеля Армении, Байкальского железнодорожного тоннеля на БАМе, транспортных тоннелей на Хантайской, Вилюйской и Колымской ГЭС, а также при строительстве Гимринского автодорожного тоннеля в Дагестане.

Д. М. Голицынский возглавлял городскую комиссию по рассмотрению технических предложений по восстановлению движения на участке Санкт-Петербургского метрополитена между станциями «Лесная» – «Площадь Мужества», являлся членом экспертного совета ВАК РФ по строительству, долгое время был членом Комитета по освоению подземного пространства Национального объединения строителей и входил в состав правления Тоннельной ассоциации России со дня ее основания.

Дмитрий Михайлович – автор более 170 научных трудов, монографий и 15 авторских свидетельств на изобретения, под его руководством защищено 7 кандидатских диссертаций.

Способность полностью отдавать всего себя любимому делу, умение ладить с людьми, решать многочисленные проблемы, чутко улавливать перемены, воспринимать новое и претворять его в жизнь снискали заслуженное уважение коллег и признание общества и государства.

За большой вклад в подготовку специалистов-тоннельщиков и успешное внедрение новых технологий в тоннелестроение Д. М. Голицынский был награжден бронзовой медалью ВДНХ, почетной грамотой ВАК России, почетными знаками «Почетный транспортный строитель», «Почетный железнодорожник», а также ему присвоено звание «Заслуженный строитель Российской Федерации».

Коллектив кафедры тоннели и метрополитены Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I и правление Тоннельной ассоциации России выражают искренние соболезнования родным и близким нашего коллеги, всем, кто знал и работал с этим незаурядным, светлым и жизнерадостным человеком.

Светлая память о Дмитрие Михайловиче Голицынском сохранится в наших сердцах, а его имя увековечено в научных трудах и работах, которые он создавал на протяжении своей наполненной яркими событиями жизни.

## ПАМЯТИ БОРИСА ИВАНОВИЧА ФЕДУНЦА



**22 мая 2023 г. на 86-м году жизни скончался Борис Иванович Федунец, доктор технических наук, профессор, действительный член Академии горных наук и Российской академии Естественных Наук, лауреат премии Правительства РФ, заслуженный деятель науки и техники РФ.**

Борис Иванович родился 4 мая 1938 г. Выпускник Московского горного института, он всю свою творческую жизнь посвятил горной науке и подготовке специалистов в области технологии разработки полезных ископаемых и строительной геотехнологии.

Вся его трудовая деятельность – это путь ученого и практика, который своими знаниями и опытом стремился облегчить труд горняков, сделать его эффективнее, поднять престиж этой очень нелегкой профессии.

В мае 1967 г. он поступил старшим преподавателем на работу в МГИ, на кафедру технологии, механизации и организации подземной добычи угля. В июне 1974 г. стал доцентом этой кафедры. В 1979 г. был командирован на три года в ГДР, в компанию «Висмут».

В феврале 1987 г. получил ученое звание доктор технических наук, а в 1989 г. стал профессором кафедры строительства подземных сооружений и шахт.

Его научная и практическая деятельность, связанная с решением задач угольной промышленности и освоением подземного пространства недр земли, широко известна и в России, и на международном уровне.

Им обоснованы, разработаны и внедрены принципиально новые технологии при отработке угольных пластов и урановых руд, установлены закономерности изменения напряженно-деформированного состояния массива и выявлены физические особенности процесса резания прочных трещиноватых пород.

Борис Иванович стоял у истоков создания Тоннельной ассоциации России, много лет работал в ее правлении и редакционной коллегии журнала «Метро и тоннели». Имел государственные и ведомственные награды, в том числе премию Правительства Российской Федерации в области образования (2005 г.).

В августе 2015 г. он закончил свою долгую и плодотворную трудовую деятельность в Московском горном институте, но еще по мере сил продолжал участвовать в общественной работе Тоннельной ассоциации России.

Светлая память об этом замечательном человеке останется в наших сердцах.

*Правление Тоннельной ассоциации России*