

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. Мазин, доктор техн. наук, зам. руководителя Исполнительной дирекции

Редакционная коллегия

В. В. Адушкин, академик РАН

В. Н. Александров

М. Ю. Беленький

А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук

В. В. Внутских

С. А. Жуков

Б. А. Картозия, доктор техн. наук

Е. Н. Курбачкий, доктор техн. наук

М. О. Лебедев, канд. техн. наук

И. В. Маковский, канд. техн. наук

Ю. Н. Малышев, академик РАН

В. Е. Меркин, доктор техн. наук

А. Ю. Старков

Б. И. Федунец, доктор техн. наук

Т. В. 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



Мосметрострой



№ 3 2022

Нормативные документы

Предложения по совершенствованию норм проектирования объектов на путях сообщения в сейсмических районах

2

Г. С. Шестоперов

Проектирование

Особенности расчета огнестойкости несущих конструкций подземных сооружений

7

Н. Ф. Давыдкин, В. Л. Страхов,
Вл. О. Каледин, И. Я. Дорман

Расчет городского тоннеля на автотранспортную нагрузку

12

М. Х. Миралимов, Д. Усманов, А. Каршибоев

Научно-техническое сопровождение

Научно-техническое сопровождение строительства многофункционального комплекса над станцией метро «Чкаловская»

16

С. В. Коваль, А. А. Пискунов, Е. А. Пестрякова,
А. Н. Сонин, Е. В. Мазур, И. Я. Харченко,
А. И. Харченко, А. А. Куниевский

Строительство метро

Реконструкция наземных павильонов метрополитена Москвы

20

А. Р. Попонин

Гидроизоляция

Особенности проектирования и устройства надежной и ремонтпригодной гидроизоляции для подземных сооружений транспортного назначения

24

Т. Е. Кобидзе, Д. С. Конюхов

Геофизика

Опыт применения скважинного сейсмоакустического метода для контроля качества возведения ледогрунтового ограждения

28

К. А. Дорохин, О. В. Бойко, А. М. Сухарев

Вопросы высшего образования

Новый этап реформы Российского высшего образования

32

Б. А. Картозия, А. В. Корчак, А. Н. Панкратенко,
В. И. Смирнов, М. Н. Шуплик

Зарубежный опыт

Надежное освещение тоннелей: итоги десятилетия

36

А. В. Космин, В. В. Космин

Книжная полка

О сборнике статей «Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения»

38

В Тоннельной ассоциации России

Китайско-Российский форум молодых ученых в области геотехники и подземного строительства

48

СОДЕРЖАНИЕ



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Владивостокский железнодорожный тоннель после реконструкции

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ПУТЯХ СООБЩЕНИЯ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

PROPOSALS FOR IMPROVING THE DESIGN STANDARDS OF THE TRANSPORT STRUCTURES IN SEISMIC REGIONS

Г. С. Шестоперов, д-р геол.-мин. наук, ООО ИЦ «ПОИСК»

G. S. Shestoporov, D-r geol.-min. Sc., ООО ЕС «POISK»

От редакции

В настоящее время в Минстрое составляется программа работ на 2023 г. по изменению и дополнению действующих в России норм строительства, в том числе в сейсмических районах. В связи с этим редакция публикует статью д-ра геол.-мин. наук, профессора Г. С. Шестоперова, содержащую предложения по улучшению оценок сейсмической опасности при проектировании транспортных зданий и сооружений для внесения в основные требования СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» и ГОСТ Р 57546–2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности» поправок, обеспечивающих сейсмостойкость логистических цепочек из объектов инфраструктуры наземных, подземных, воздушных и водных путей сообщения.

Предлагается разработать и утвердить в качестве государственного стандарта единую классификацию зданий и сооружений, подведомственных Минтрансу частей транспортной инфраструктуры РФ, исходя из критерия допустимого сейсмического риска при их эксплуатации.

При проектировании транспортной инфраструктуры в городах предлагается определять исходную сейсмичность с погрешностью до одного децибалла инструментальной части уточненной сейсмической шкалы с использованием уравнения сейсмического риска. Коэффициенты уравнения риска и максимальную сейсмическую опасность в городах устанавливает РАН по предложениям Института физики Земли РАН и региональных сейсмологических организаций с последующим утверждением Минстроем в качестве государственного стандарта.

Уточненная сейсмическая опасность участков объектов транспортного комплекса в городах определяется проектными организациями камерально по утвержденному ГОСТу. Изменения в ГОСТ должны вноситься по мере накопления сейсмогеологических, макросейсмических и инструментальных данных о сейсмическом режиме и максимальных возможных землетрясениях в населенных пунктах РФ. Имея в виду состояние действующих норм по строительству, редакция приглашает специалистов к обсуждению данной темы, включая предложения публикуемой статьи.

*Посвящается светлой памяти
д. т. н., профессора А. А. Цернанта*

Предисловие

За последние 10 лет в сейсмических районах России построены и успешно эксплуатируются многие новые капиталоемкие объекты транспортной инфраструктуры. С августа 2012 г. действует уникальный вантовый автодорожный мост через пролив Босфор Восточный с центральным пролетом 1104 м и пилонами высотой более 300 м. Во Владивостоке также сооружен внеклассный мост через бухту Золотой Рог. К началу Олимпийских игр 2014 г. в Сочи в транспортном коридоре между Адлером и Красной Поляной открыто движение поездов и автомобилей по трассе, проложенной в предгорной и горной местности с устройством ряда больших и внеклассных мостов и тоннелей.

В сложных инженерно-геологических условиях проектировался и строился мостовой переход через Керченский пролив протяженностью 19 км. Совмещенный переход включает искусственные сооружения для пропуска двух железнодорожных путей и движения автомобилей по четырем полосам. На Таманском полуострове построены желез-

нодорожные и автодорожные подходы, в том числе тоннельные участки к Крымскому мосту.

Проектируются, строятся и реконструируются железнодорожные тоннели и мосты на БАМе, Транссибе и путях к месторождениям полезных ископаемых в Восточной Сибири. При строительстве дорожных сооружений на Дальнем Востоке применяются облегченные несущие конструкции из гофрированного металла.

Реконструированы с качественным повышением эксплуатационных характеристик аэропорты в Сочи (Адлере) и Симферополе, автомобильная дорога «Таврида», соединяющая Керчь, Симферополь и Севастополь. В Крыму реконструированы некоторые участки автомобильных дорог между городами на побережье Черного моря и степной зоной.

Проектирование наиболее крупных объектов сопровождалось научными исследованиями с участием ведущих специалистов из институтов РАН, научно-исследовательских институтов, вузов и производственных организаций. На основе выполненных исследований в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкого строительства разработаны норма-

тивные документы в области транспортного строительства, утвержденные Минстроем в виде трех сводов правил [9–11]. Для разъяснения нормативных требований составлены пособия, содержащие примеры выполнения УИС, СМР и других специальных работ.

В ближайшие годы планируется дальнейшая модернизация транспортной инфраструктуры страны, включая завершение строительства нового грузового порта «Лавна» с железнодорожными подходами к нему длиной 46 км на Кольском полуострове, устройство второго пути на БАМе, реконструкцию аэропортов в Краснодаре и Петропавловске-Камчатском. Прорабатываются технические решения по вариантам мостовых и тоннельных переходов через реки Лену и Енисей, транспортному переходу с материка на о. Сахалин, метрополитену в Красноярске.

Значительный объем транзитных перевозок в России определяется географическим положением страны, позволяющим перемещать грузы и пассажиров по кратчайшему расстоянию между странами Тихоокеанского бассейна и Европы. Международный характер перевозок по территории Крыма, Северного Кавказа, Байкальской рифтовой зоны, Дальнего Востока потребует продолжения модернизации транспортной системы страны на уровне не ниже лучших зарубежных аналогов, что может быть выполнено только с использованием современной системы технического регулирования строительства в сейсмических районах.

При актуализации действующих норм необходимо иметь в виду, что за рубежом при разрушительных землетрясениях и сопутствующих им воздействиях наблюдаются более или менее значительные повреждения транспортной инфраструктуры. Поэтому при актуализации норм строительства в сейсмических районах России недостатки документов технического регулирования необходимо устранить на основе инженерного анализа последствий разрушительных землетрясений в мире, применения результатов научных исследований российских специалистов в области инженерной сейсмологии и сейсмостойкости сооружений с использованием отдельных прогрессивных требований зарубежных стандартов. Полностью переходить на европейские нормы не следует, поскольку такое решение приведет, как минимум, к неприемлемым конкурентным преимуществам иностранных фирм в строительстве.

Проблему актуализации норм по строительству в сейсмических районах на данном этапе целесообразно обсудить с привлечением изыскателей, проектировщиков и разработчиков норм, имея в виду перспективу модернизации инфраструктуры международных путей сообщения на территории России, Казахстана и других соседних государств. При обсуждении действующих норм должны быть выявлены недостатки требований к проектированию и рассмотрены предложения по их устранению посредством

разработки нового государственного стандарта по ключевым правилам проектирования объектов транспортного комплекса в сейсмических районах.

Наибольшее влияние на возможность отказов объектов транспортного строительства при землетрясениях и на стоимость антисейсмических мероприятий оказывают следующие виды проектно-изыскательских работ:

- выбор при проектировании конкретного сооружения карты общего сейсмического районирования из трех карт комплекта ОСР-2015;
- уточнение исходной сейсмичности, т. е. балльности, указанной на выбранной карте ОСР-2015, на основании данных о сейсмическом режиме местности и величине допустимого сейсмического риска;
- определение расчетных параметров колебаний грунта с учетом местных инженерно-геологических и геоморфологических условий, а также технико-экономических возможностей предотвращения отказов конструкций при колебаниях грунтов особенно большой интенсивности и сопутствующих землетрясениям сеймотектонических и сейсмогравитационных воздействиях.

Рассмотрим недостатки системы регулирования упомянутых видов работ и возможные изменения норм применительно к объектам инфраструктуры железнодорожного, воздушного, водного и внеуличного транспорта на территории Российской Федерации.

Выбор карты общего сейсмического районирования

При проектировании зданий и сооружений порядок выбора карты из комплекта действующих карт ОСР-2015 регламентирован пунктом 4.3 и таблицей 4.2 «Классификация объектов в сейсмических районах по их назначению» СП 14.13330.2018 [8].

Таблица 4.2 состоит из четырех позиций (граф), включающих здания и сооружения различного назначения. Объекты транспортной инфраструктуры (воздушного, морского, железнодорожного и внеуличного транспорта), имеющие статус особо опасных или технически сложных, вошли в первые две графы этой таблицы, а именно, объекты инфраструктуры воздушного транспорта и морских портов отнесены к первой группе, инфраструктуры железнодорожного и внеуличного транспорта – ко второй группе объектов.

Согласно последней редакции Градостроительного кодекса [1] и закону № 312-ФЗ [2] к особо опасным и технически сложным объектам инфраструктуры воздушного транспорта относятся, в частности, аэровокзалы (терминалы) пропускной способностью 100 пассажиров в час и более, диспетчерские центры единой системы организации воздушного движения высотой более трех этажей или площадью 1500 м² и более.

К категории особо опасных и технически сложных объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта принадлежат тоннели длиной более 500 м, мостовые переходы с опо-

рами высотой от 50 до 100 м, железнодорожные вокзалы расчетной вместимостью свыше 900 пассажиров и некоторые другие сооружения системы железнодорожных сообщений.

Согласно п. 4.3 СП 14.13330.2018 перечисленные объекты инфраструктуры воздушного транспорта, а также сооружения морских портов должны проектироваться с использованием карты ОСР-2015-С, т. е. исходя из инженерного сейсмического риска (вероятности превышения расчетной сейсмической нагрузки) 1 % за 50 лет эксплуатации. Напротив, при проектировании особо опасных и технически сложных объектов железнодорожной и внеуличной инфраструктуры предлагается применять карту ОСР-2015-В, соответствующую сейсмическому риску 5 %. Таким образом, ключевые объекты железнодорожной и внеуличной инфраструктуры (в частности, метрополитены) по таблице 4.2 проектируются с пятикратным увеличением вероятности отказа при землетрясениях по сравнению с аналогичными по ответственности объектами инфраструктуры воздушного транспорта и сооружениями морских портов. Дополнительно надежность железнодорожных и городских внеуличных транспортных объектов уменьшается за счет назначения по таблице 4.2 минимального коэффициента надежности по ответственности $K_0 = 1,1$, регламентированного ГОСТ 27751-2014 [6].

Сейсмический риск при проектировании новых и реконструкции (усилении) существующих внеклассных транспортных сооружений в России и за рубежом, как правило, принимают меньше 5 %. Приведем соответствующие примеры.

1. Вантовый мост во Владивостоке через пролив Босфор Восточный. Общая длина моста, включая эстакады подхода к акватории, около 3 км. Сейсмический риск 1 %.

2. Висячий мост через пролив Золотые Ворота в Сан-Франциско (США). Общая длина моста 2790 м, величина центрального пролета 1280 м. Высота пилонов 227 м. Антисейсмическое усиление выполнено по разным оценкам с риском от 2 до 5 %.

3. Вантовый автодорожный мост через Коринфский пролив (Греция). Длина моста в пределах акватории 2252 м. Исключительно сложные инженерно-геологические условия в створе моста. Сейсмический риск 2,5 %.

4. Совмещенный висячий мост через эстуарий р. Тежу в Лиссабоне (Португалия). Центральный пролет моста 1013 м, боковые пролеты по 483 м каждый. Реконструкция выполнена для пропуска по мосту поездов и увеличения числа полос движения автомобилей. Сейсмический риск 2,5 %.

5. Городской арочный мост в Шанхае (КНР). Центральный пролет величиной 550 м один из самых больших в мире для арочных мостов. Сейсмический риск 1,5 %.

На основании отечественной и зарубежной практики строительства в сейсмических районах дорожные сооружения в России по исполнению подразделяются в зависимости

Таблица 1

Классификация объектов дорожного строительства по сейсмостойкости

Класс сейсмостойкости объектов	Номенклатура объектов
I – допустимый сейсмический риск от 1 до 2,5 %	Наиболее крупные и капиталоемкие объекты на железных и автомобильных дорогах категорий II и выше, на скоростных городских дорогах, линиях метрополитена и скоростного монорельсового транспорта. Балочные, арочные и рамные мосты с пролетами более 150 м, виадуки с опорами над поверхностью грунта высотой более 50 м, мосты, эстакады, подводные тоннели, тоннели и станции метрополитена, горные тоннели и лавинозащитные галереи длиной более 500 м, многоярусные транспортные развязки с организацией движения в трех и более уровнях. Висячие и вантовые мосты через большие реки, морские проливы и заливы с главными пролетами более 300 м на дорогах всех категорий.
II – допустимый сейсмический риск 5 %	Мосты через водотоки, виадуки, эстакады, путепроводы, транспортные развязки, тоннели, галереи (кроме сооружений, отнесенных к объектам класса сейсмостойкости I), подпорные стены, водопропускные трубы, пешеходные мосты и тоннели, пассажирские платформы, насыпи и выемки, возводимые на железных и автомобильных дорогах категорий II и выше, а также на скоростных городских дорогах, магистральных улицах (проспектах) общегородского значения, линиях метрополитена, трамвая и скоростного монорельсового транспорта. Опоры контактной сети на железных дорогах категории II и выше.
III – допустимый сейсмический риск 10 %	Мосты через водотоки, виадуки, эстакады, путепроводы, транспортные развязки, тоннели, галереи, подпорные стены, водопропускные трубы, пешеходные мосты и тоннели, насыпи и выемки, сооружаемые на железных и автомобильных дорогах категорий III и IV, а также на магистральных городских дорогах (улицах) районного значения. Опоры контактной сети на железных дорогах категорий III и IV.

от допустимого сейсмического риска на три класса сейсмостойкости [9]. Для сооружений класса сейсмостойкости I допустимый сейсмический риск принимается от 1 до 2,5 %, для сооружений классов сейсмостойкости II и III допустимый сейсмический риск равен 5 и 10 % соответственно. Классификация объектов дорожного строительства по сейсмостойкости приведена в табл. 1. Решение о выборе уровня антисейсмической защиты объектов, не включенных в табл. 1, принимается по представлению генерального проектировщика, согласованному заказчиком. При проектировании дорожных сооружений пониженной, нормальной и повышенной сейсмостойкости используются карты А, В, С комплекта ОСП-2015 с уточнением силы землетрясения по методике УИС.

Сопоставление требований таблицы 4.2 СП 14.13330.2018 с практикой проектирования дорожных сооружений в России и за рубежом показывает занижение правилами СП 14.13330.2018 сейсмической опасности при проектировании одних объектов транспортной инфраструктуры и завышение опасности для многих других объектов.

Уточнение исходной сейсмичности

Сейсмическая опасность на картах ОСП-2015 регламентирована целыми баллами шкалы MSK-64. В результате, при использовании карт без их уточнения сооружения двух, а иногда и трех различных классов сейсмостойкости проектируют с учетом землетрясений одинаковой силы, т. е. без повышения сейсмической нагрузки для сооружений первого класса и без снижения нагрузки для сооружений третьего класса относительно объектов второго класса сейсмостойкости, что не позволяет обеспе-

чить уровень надежности сооружений, соответствующий их классу.

Для примера рассмотрим территорию Краснодарского края. Список населенных пунктов края, расположенных в районах сейсмичностью 6 и более баллов, включает 75 наименований. Из них только для шести пунктов (8 % от их общего числа) указана различная сейсмичность на картах ОСП-2015-А, ОСП-2015-В и ОСП-2015-С. В остальных 69 пунктах (92 %) сооружения двух (в отдельных пунктах сооружения трех) классов проектируют, исходя из одинаковой сейсмичности района. В частности, одинаковая сейсмичность 9 баллов показана на картах ОСП-2015-В и ОСП-2015-С для Новороссийска, Сочи, Тамани и Туапсе.

В связи с изысканиями, проектированием и строительством многих объектов транспортного назначения выполнены сейсмологические исследования и определена в дробных баллах исходная сейсмичность многих пунктов (около 100) на территории Северного Кавказа, Крыма, Сибири и Дальнего Востока. Частично результаты этих исследований представлены в табл. 2, позволяющей оценить погрешность определения сейсмической опасности по карте ОСП-2015-В.

Из сопоставления исходной сейсмичности, указанной на картах ОСП-2015 с данными прикладных сейсмологических исследований, следует, что погрешность номиналов уровня опасности на картах может быть как положительной, так и отрицательной величиной, а ее модуль в среднем составляет 0,5 балла. Для отдельных пунктов разность исходной и уточненной сейсмичности, обусловленная округлением сейсмической опасности до целых баллов и новыми сейсмологическими материалами,

приближается к одному баллу, что соответствует завышению или занижению сейсмической нагрузки на объект в два раза.

При уточнении исходной сейсмичности дорожных сооружений используется уравнение сейсмического риска:

$$I = c + d \lg R, \quad (1)$$

где I – уровень опасности в дробных баллах;
R – допустимый сейсмический риск для проектируемого объекта;

c и d – эмпирические коэффициенты сейсмического риска, определяемые по сведениям о средних интервалах времени между землетрясениями разной силы в данном пункте.

По сейсмологическим данным уравнение сейсмического риска для г. Туапсе имеет вид:

$$I = 6,17 - 1,49 \lg R.$$

По этому уравнению сила толчков, соответствующих значениям риска от 1 до 10 %, равна: $I_{10\%} = 7,7$ балла; $I_{5\%} = 8,1$ балла; $I_{2,5\%} = 8,6$ балла; $I_{1\%} = 9,1$ балла.

При проектировании сооружений первого класса сейсмостойкости величина допустимого риска R уточняется по данным детерминированной оценки сейсмической опасности в пункте строительства [10].

Для выполнения детерминированных оценок составляется карта активных разломов, расположенных в радиусе до 100–150 км от объекта. С учетом удаленности и простирающихся разломов выполняют расчет по уравнению макросейсмического поля силы землетрясения для средних по сейсмическим свойствам грунтов и ровных площадок на участке строительства.

Для картирования и описания характеристик сейсмогенерирующих разломов

Таблица 2

Уточнение исходной сейсмичности, указанной на карте ОСР-2015-В

Название региона	Название пункта	Сила землетрясения, баллы		Уточнение сейсмичности, баллы
		По карте ОСР-2015-В	По данным УИС	
Северный Кавказ	Адлер	9,0	8,5	–0,5
	Туапсе	9,0	8,1	–0,9
	Новороссийск	9,0	8,6	–0,4
	Горячий ключ	8,0	8,5	+0,5
	Владикавказ	9,0	8,7	–0,3
	Рокский перевал	9,0	9,1	+0,1
Восточная Сибирь	Улан-Удэ	8,0	8,3	+0,3
	Новоселенгинск	8,0	8,0	0
	Кяхта	8,0	8,0	0
	Иркутск	9,0	8,2	–0,8
	Ангарск	8,0	7,7	–0,3
	Джида	8,0	7,9	–0,1
	Чара	9,0	9,3	+0,3
	Чина	9,0	9,3	+0,3
	Средний Калар	9,0	8,4	–0,6
Дальний Восток	Погиби	9,0	8,5	–0,5
	Вал	9,0	10,0	+1,0
	Западно-Сахалинские горы	9,0	9,6	+0,6
	Лазарев	9,0	8,5	–0,5
	Богородское	8,0	7,7	–0,3

(тип разрывов, максимальная магнитуда вызываемых ими землетрясений и др.) проводится анализ фондовых и опубликованных источников сведений о доисторических, исторических и современных землетрясениях совместно с материалами полевых геологических работ, сейсморазведки, эманацонной и газовой съемок, результатами дешифрования аэро- и космических снимков, аэровизуальных наблюдений, данными датировки сейсмодислокаций радиоуглеродным методом. Возможность выхода тектонического разрыва на земную поверхность и величины амплитуды землетрясения при известных характеристиках дислокации находят по формулам СП 270.1925.806.2016 [11].

Аналитическая зависимость (1) содержит в компактной форме весь объем сейсмологической информации, представленной на картах ОСР-2015 и уточняющих их специальных геологических, палеосейсмогеологических, сейсмоархеологических, исторических и других исследований. В отличие от приложения А к СП 14.13330.2018 уравнение сейсмического риска позволяет оценивать сейсмическую опасность в пункте строительства без погрешностей, вызы-

ваемых округлением силы землетрясения до целых баллов. Кроме того, зависимость (1) позволяет определять силу землетрясения для любых значений сейсмического риска в интервале от 1 до 10 %, а не только для трех принятых на картах ОСР-2015 значений 1, 5 и 10 %.

Аналитическая зависимость (1) перспективна для улучшения программного обеспечения проектирования различных объектов в сейсмических районах, поскольку сейсмическая опасность в этом случае задается при нормированных значениях эмпирических коэффициентов c и d в этой зависимости только одним параметром – допустимым сейсмическим риском R , назначение которого частично (для нестандартных ситуаций) продолжает оставаться в сфере деятельности заказчика и проектировщика объекта.

Использование метода сейсмического риска при оценке сейсмической опасности на всей территории России возможно при определении эмпирических коэффициентов зависимости (1) для пунктов, указанных в приложении А к СП 14.13330.2018, а также нормировании параметров колебаний грунта в дробных баллах (с точностью до децибалла) сейсмической интенсивности.

Параметры колебаний грунта, соответствующие дробным баллам сейсмического воздействия

Процедуры уточнения сейсмической опасности за счет всех факторов, влияющих на колебания грунта, включая местные инженерно-геологические и геоморфологические условия, приводят к поправкам к исходной сейсмичности участка строительства в долях балла. В результате расчетная сейсмичность выражается, как правило, в дробных баллах с округлением до одной десятой балла (до одного децибалла).

В СП 14.13330.2018 п. 5.5 сейсмическая нагрузка от масс здания (сооружения) регламентирована только для целых значений 7, 8 и 9 баллов. При этом учитывается только ускорение колебаний грунта, что недостаточно для проектирования транспортных сооружений. Например, при назначении ширины деформационных швов в мостах требуется учитывать амплитуду перемещений грунта при землетрясениях, при расчете жидкостных демпферов – скорость колебаний грунта.

В ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности [7] включено справочное приложение Б, содержащее таблицу средних значений пиковых ускоре-

Таблица 3

Шкала сейсмической интенсивности

Интенсивность сейсмических колебаний, баллы	Перемещения, см	Скорость, см/с	Ускорение, см/с ²
7	$\frac{2,8-5,7}{4,0}$	$\frac{5,7-11,3}{8,0}$	$\frac{70,7-141}{100}$
8	$\frac{5,7-11,3}{8,0}$	$\frac{11,3-22,6}{16,0}$	$\frac{141-283}{200}$
9	$\frac{11,3-22,6}{16,0}$	$\frac{22,6-45,2}{32,0}$	$\frac{283-566}{400}$
10	$\frac{22,6-45,2}{32,0}$	$\frac{45,2-90,5}{64,0}$	$\frac{566-1131}{800}$

ний, скоростей и перемещений грунта при землетрясениях с шагом 0,5 балла и формулы для определения этих параметров с шагом 0,1 балла.

По инструментальной части шкалы ГОСТ Р 57546-2017 ускорения, скорости и перемещения возрастают с увеличением бальности как геометрические прогрессии со знаменателем соответственно 2,5, 2,9 и 3,5, что приводит к завышению параметров колебаний грунта по сравнению с другими отечественными и зарубежными сейсмическими шкалами. Например, для 9-балльных событий параметры колебаний грунта по ГОСТ Р 57546-2017 в несколько раз превышают соответствующие параметры по шкалам семейства Меркалли (для ускорений примерно в 2 раза, скоростей – в 3 раза, перемещений – более чем в 4 раза).

В результате использования при проектировании параметров колебаний грунта по ГОСТ Р 57546-2017 в качестве обязательных нагрузки от масс сооружений увеличатся почти вдвое в районах сейсмичностью 9 баллов, что переводит объекты, построенные по современным нормам, в категорию несейсмостойких с необходимостью их антисейсмического усиления.

Увеличение сейсмической нагрузки с одновременным повышением амплитуд перемещений и скоростей колебаний грунта приведет к соответствующему (в разы) повышению расхода материалов и стоимости антисейсмических мероприятий, в том числе за счет выполнения требований безопасности движения поездов (особенно на скоростных магистралях) в районах сейсмичностью 9 баллов.

Для исключения излишнего расхода ресурсов на антисейсмические мероприятия при строительстве транспортных сооружений в СП 269.1325800.2016 приводятся параметры горизонтальных колебаний грунта (перемещение, скорость, ускорение) для дробных значений бальности землетрясения. Таблицы параметров колебаний грунта составлены на основании статистической обработки сведений о землетрясениях, происходивших в России, США, Мексике, Японии, Иране, на Тайване, в Алжире, в республиках Закавказья и Средней Азии. Гранич-

ные и средние интервальные значения кинематических параметров показаны в числителях и знаменателях характеристик шкалы сейсмической интенсивности (табл. 3).

Выводы и предложения

1. Правила выбора используемой при проектировании карты сейсмической опасности из комплекта карт ОСР-2015, регламентированные таблицей 4.2 СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах», приводят к недооценке сейсмической опасности при проектировании объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, относящихся к категории особо опасных и технически сложных. Напротив, объекты инфраструктуры воздушного транспорта в той же категории проектируются с переоценкой опасности землетрясений.

Предлагается разработать государственный стандарт, устанавливающий единые правила назначения допустимого сейсмического риска и выбора используемой при проектировании карты общего сейсмического районирования для зданий и сооружений железнодорожного, автомобильного, городского, внеуличного (метрополитены), воздушного и водного транспорта. При разработке стандарта должны учитываться Федеральные законы и подзаконные акты [1–5,12].

2. Для оценки сейсмической опасности по методу сейсмического риска необходимо разработать таблицу коэффициентов сейсмического риска для приведенного в приложении А СП 14.13330.2018 перечня населенных пунктов на территории Российской Федерации с привлечением специалистов ИФЗ РАН и региональных сейсмологических организаций. Имея в виду радикальный характер предлагаемых изменений оценок сейсмической опасности целесообразно в опытный порядок разработать на первом этапе таблицу коэффициентов сейсмического риска для двух-трех регионов (например, для Крыма, одной из республик Северного Кавказа, Иркутской области).

3. Регламентированные в СП 268.1325800.2016 для проектирования сооруже-

ний дорожного профиля параметры колебаний грунта, соответствующие дробным значениям баллов шкалы сейсмической интенсивности, предлагается распространить на транспортные здания и сооружения инфраструктуры воздушного и водного транспорта. Табулированные значения перемещений, скоростей и ускорений колебаний грунта могут быть включены в предлагаемый для разработки государственный стандарт «Правила учета сейсмического риска при проектировании объектов транспортной инфраструктуры».

Ключевые слова

Землетрясения, объекты путей сообщения, нормы проектирования.

Earthquakes, Transport Structures, Earthquake-Resistant Design Standards.

Список литературы

1. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».
2. № 312-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части уточнения объектов инфраструктуры воздушного и железнодорожного транспорта, объектов инфраструктуры морских портов, относящихся к особо опасным, технически сложным объектам».
3. № 261-ФЗ «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
4. Федеральный закон «О внеуличном транспорте и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
5. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
6. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения». За принятие стандарта проголосовали Азербайджан, Армения, Казахстан, Киргизия и Россия.
7. ГОСТ Р 57546-2017 Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности.
8. СП 14.13330.2018. Строительство в сейсмических районах.
9. СП 268.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила проектирования.
10. СП 269.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила уточнения исходной сейсмичности и сейсмического микрорайонирования.
11. СП 270.1325800.2016. Транспортные сооружения в сейсмических районах. Правила оценки повреждения дорог при землетрясениях в отдаленных и труднодоступных районах.
12. Минтранс РФ. Приказ от 7 ноября 2017 г. № 475 «Об утверждении перечня объектов инфраструктуры морского порта».

Для связи с автором

Шестоперов Герман Сергеевич
sgs1985@rambler.ru



ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОГНЕСТОЙКОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

FEATURES OF THE CALCULATION OF FIRE RESISTANCE OF STRUCTURES OF UNDERGROUND STRUCTURES

Н. Ф. Давыдкин, д. т. н., В. Л. Страхов, д. т. н., Вл. О. Каледин, к. т. н., Научно-производственный центр «Интерсигнал»,

И. Я. Дорман, д. т. н., Тоннельная ассоциация России

N. F. Davydkin, D-r Techn. Sc., V. L. Strakhov, D-r Techn. Sc., V. O. Kaledin, PhD, Research and Production Center «Intersignal»,
I. Y. Dorman, D-r Techn. Sc., Tunnel Association of Russia

В мировой практике градостроительства, в том числе и в нашей стране, наблюдается устойчивая тенденция к использованию подземного пространства для гаражей, складов, магазинов, кафе, спортзалов. Эти сооружения, все глубже погружаясь в землю, становятся как бы невидимым зеркальным отображением небоскребов. В Москве построены уникальные подземные объекты: восьмιαрусный гараж-стоянка, многоэтажные торгово-рекреационные комплексы (ТРК) на Манежной и Павелецкой площадях и др. Аналогичное строительство ведется также в Санкт-Петербурге, Екатеринбурге и других городах России.

В статье рассмотрена апробированная на сооружениях подземного комплекса на Манежной площади в Москве методика расчета огнестойкости как элемента пожарной безопасности.

In the world practice of urban planning, including in our country, there is a steady trend towards the use of underground space for garages, warehouses, shops, cafes, gyms. These structures, sinking deeper into the ground, become like an invisible mirror image of skyscrapers.

In Moscow, an underground unique eight-tier parking garage, multi-storey underground Trade and Recreational Complexes (TRK) were built on Manege and Paveletskaya squares, and other underground facilities. Similar construction is also underway in St. Petersburg, Yekaterinburg and other cities of Russia.

The article considers the method of calculating fire resistance as an element of fire safety tested on the structures of the underground complex on Manege Square in Moscow.

Одной из сложных и нестандартных проблем, которую невозможно в полной мере заnormировать при проектировании и строительстве подземных объектов, является комплексное обеспечение их пожарной безопасности, структурно отображенное на рис. 1.

Одним из главных факторов в этой комплексной системе является обеспечение огнестойкости каждой конкретной строительной конструкции (СК) для каждого конкретного подземного сооружения.

Несущие конструкции, поврежденные пожаром, могут обрушиться или получить недопустимые прогибы. Причем ввиду многосвязности строительных конструкций даже их локальное обрушение приводит к катастрофическим последствиям для сооружения в целом.

К числу главных задач, решаемых при проектировании строительных конструкций, помимо обеспечения их достаточной несущей способности в условиях обычной эксплуатации, относится выполнение условия обеспечения их требуемой огнестойкости при пожаре.

Несущая способность конструкций, как при обычных условиях эксплуатации, так и в условиях пожара (огнестойкость), определяется расчетами. Причем сложность и трудо-



Рис. 1. Структурная схема направлений комплексной пожарной безопасности объектов и сооружений при проектировании и строительстве

емкость расчета огнестойкости в несколько раз превышает сложность и трудоемкость расчета несущей способности в обычных условиях эксплуатации.

Огнестойкость и выбор типа огнезащиты строительных конструкций зависит от большого количества факторов:

- функционального назначения сооружения;
- объемно-планировочного решения сооружения;
- геометрических параметров элементов сооружения;

• типа расчетной схемы строительных конструкций (балочная, рамная и т. п.);

• силовых факторов, воздействующих в целом на систему СК и ее отдельных элементов;

• физико-механических, деформационных и теплотехнических характеристик арматуры, бетона, закладных деталей и т. п.;

• возможных направлений теплового потока в конструкции при пожаре (одно-, двух-, трех- (или) четырехстороннее температурное воздействие на конструкцию) и др.

Бетонные и железобетонные конструкции подземных сооружений, с точки зрения огнестойкости, имеют следующие особенности:

• большие размеры и сложную пространственную конфигурацию (как правило, несущие конструкции представляют собой многосвязную статически неопределимую механическую систему);

• наличие стальных закладных элементов сложной формы, являющихся тепловыми мостами;

• повышенное влагосодержание бетона;

• невозможность замены после пожара (необходимость обеспечения гарантированной остаточной прочности).

Поэтому весьма актуальной и важной является разработка достоверных и надежных методов расчетного определения пределов огнестойкости СК, позволяющих учитывать их особенности, характерные для подземных сооружений.

Авторы, используя теоретические и экспериментальные исследования в данной области отечественных ученых [1–5], на базе собственных специальных исследований [6–12] разработали и обобщили в монографии [13] методику расчета пределов огнестойкости строительных конструкций подземных сооружений, кратко изложенную ниже.

Кратко в пределах статьи рассмотрим основные положения методики.

Основные отличительные особенности разработанной методики заключаются в следующем.

1. Расчеты могут проводиться не только для стандартного температурного режима огневого воздействия на конструкцию, но и при температурных режимах, отличных от стандартного режима (режимы горения уг-

леводородного топлива, реального пожара с участком спада температуры).

2. Решение теплотехнической и статической задач осуществляется совместно – в едином расчетном алгоритме.

3. Теплотехническая часть задачи позволяет учитывать:

- наличие высокотеплопроводных элементов в конструкции (арматуры, стальных закладных деталей, узлов крепления, элементов оформления проемов, кабельных проходок и т. п.);
- наличие полостей, заполненных воздухом;

• термическое разложение (дегидратацию) материала и сопровождающие его процессы переноса пара в проницаемой пористой среде, конденсации и испарения;

• изменение теплофизических свойств материала в процессе нагрева за счет происходящих в нем физико-химических процессов.

4. Статическая часть задачи позволяет учитывать:

- сложную внутреннюю структуру (в частности, наличие стальных элементов различного сечения) и пространственную форму конструкции (в частности, ее многосвязность);
- наличие начальных напряжений и деформаций в конструкциях (в частности, предварительно напряженной арматуры);

• произвольную неравномерность нагрева сечений конструкции;

• изменение упругопластических свойств материала при нагреве – физическую нелинейность (при расчетах железобетонных конструкций используются диаграммы деформирования бетона и стали, зависящие от температуры);

• геометрическую нелинейность (при расчете внецентренно сжатых конструкций явно учитывается увеличение их кривизны);

• появление температурных напряжений в конструкции (в расчет вводятся температурные зависимости коэффициентов термического расширения и усадки);

• постепенное выключение из работы участков сечения, в которых достигается предельное состояние материала (превышение относительной деформацией предельного значения для данной температуры);

• образование пластических шарниров в опасных сечениях и трещин в бетоне.

Кроме того, с целью учета неравномерности распределения влаги в конструкциях подземного сооружения при его эксплуатации до пожара, получено аналитическое решение соответствующей задачи влагопереноса в капиллярно-пористой среде и проведены экспериментальные исследования фактической влажности бетона основных конструкций типичного подземного сооружения – подземной многоярусной автостоянки.

Разработанная методика проверена путем:

- сопоставления численного и аналитического решений для простых расчетных случаев;

• сравнения результатов численного решения теплотехнической задачи различными методами (конечных разностей и конечных элементов);

• сравнения с результатами расчетов других авторов (по другим методикам) параметров напряженно-деформированного состояния сложных механических систем для условий обычной эксплуатации (до пожара);

• сравнения расчета с экспериментом в огневой печи на крупномасштабных фрагментах железобетонных конструкций.

Сущность подходов, положенных в основу разработанной методики, заключается в следующем.

Математическая модель тепломассопереноса в конструкциях при наличии физико-химических превращений основана на учете сохранения энергии и массы материала:

• составляются уравнения количества движения паргазовой смеси в проницаемой пористой среде и ее состоянии;

• исследуются соотношения кинетики термического разложения и усадки, а также зависящих от них пористости, теплопроводности, теплоемкости и плотности разлагающегося материала.

Оптимальный алгоритм численного решения взаимосвязанных теплотехнической и статической задач построен на рациональном сочетании методов конечных разностей (МКР) и конечных элементов (МКЭ) в варианте перемещений.¹

Дискретизация расчетной области для МКР производилась по неявной четырехточечной схеме с итерациями на каждом временном слое. Разрешающая система алгебраических уравнений МКР решалась методом прогонки. Для повышения экономичности расчетного алгоритма использованы специальные приемы, ускоряющие сходимость итерационного процесса, например, сущение сетки вблизи границ расчетной области, переменность шага по времени и т. п.

Для вывода разрешающих уравнений МКЭ использован известный вариационный экстремальный принцип Лагранжа, позволяющий обойтись без введения традиционных упрощающих гипотез относительно кинематики деформирования конструкций и, вместе с тем, учесть с достаточной точностью: их структурную неоднородность, переменность механических характеристик материалов, обусловленную их нагревом, и разницу в тепловых расширениях материалов конструкций.

Пластическое поведение материалов учитывалось алгоритмическим путем в рамках известной упругопластической модели: компоненты матрицы упругости обнулялись в тех точках расчетной области, где напряжения превышали предел текучести материала.

Реономные эффекты в материале и элементах конструкции (развивающиеся во времени вязкоупругие деформации и релаксация напряжений) учитывались введением

¹В теплотехнической части расчета использованы как МКР, так и МКЭ, а в статической – только МКЭ.

в матричное уравнение физического закона, в соответствии с принципом Вольтерра, переменного параметра μ , зависящего от времени (в форме известного дробно экспоненциального ядра Работнова [14]).

Численное решение разрешающей системы матричных уравнений МКЭ производилось с использованием итераций на каждом временном слое параллельно с решением теплотехнической задачи. При этом учитывалось влияние нагрева на механические характеристики материалов, а также «выключение» (в жестком отношении) из работы конечных элементов, уровень напряжений в которых превысил предел текучести материала. При последующих итерациях напряжения в этих элементах принимаются постоянными и равными пределу текучести. С целью моделирования процесса разрушения конструкции на каждой итерации производится также сравнение действующих в элементе напряжений с предельными (нормативным сопротивлением материала при данной температуре).

Расходящийся итерационный процесс свидетельствует об исчерпании несущей способности конструкции в данный момент времени, т. е. о наступлении ее предела огнестойкости.

Разработанный алгоритм позволяет, в частности, моделировать перераспределение напряжений между элементами конструкций (механической системы) при переходе их части в пластическое состояние или при разрушении. Введение в алгоритм вязкоупругой модели поведения материала во времени дает возможность учитывать, в частности, релаксацию температурных напряжений, что особенно важно в случае статически неопределимых железобетонных конструкций типа сводов и арок, широко применяемых в подземных сооружениях.

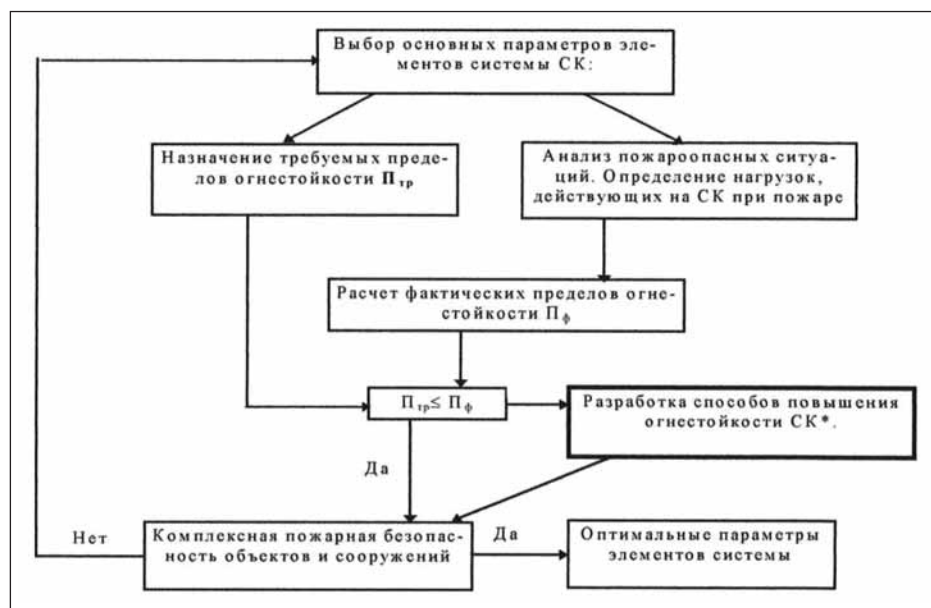


Рис. 2. Структурная схема оптимизации огнестойкости строительных конструкций

Разработанная методика расчета пределов огнестойкости апробирована при расчетах фактических пределов огнестойкости и проектировании оптимальной огнезащиты основных подземных строительных конструкций ТРК на Манежной площади в Москве и при разработке железобетонных односводчатых конструкций четырёхъярусной подземной автостоянки.

К числу наиболее сложных расчетов, проведенных по разработанной методике, на этих объектах относятся расчеты:

- сталебетонных главных балок с внутренними стальными элементами сложной формы и поперечными отверстиями;
- многосвязной статически неопределимой механической системы односводчатых

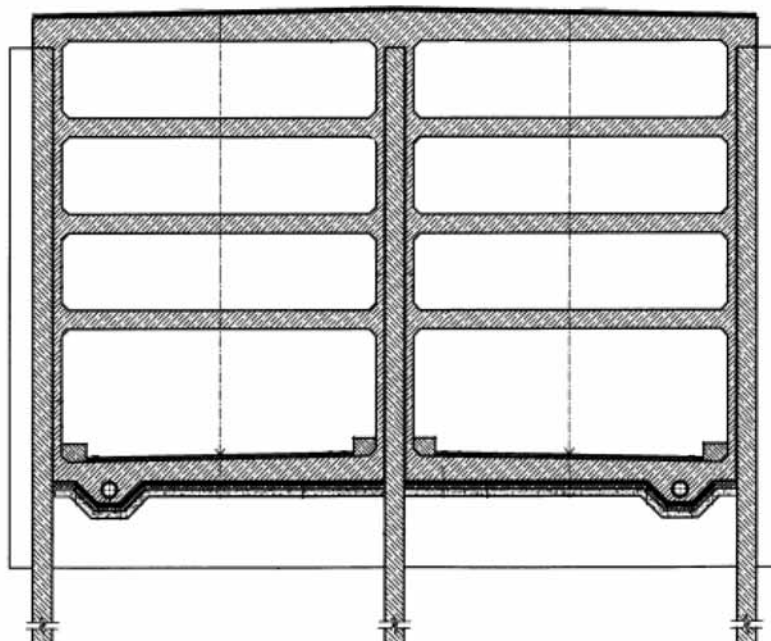
тых конструкций четырёхъярусной подземной автостоянки.

Выбор рациональных способов и средств повышения огнестойкости СК до требуемого уровня, а также определение их оптимальных параметров в рамках принятого подхода рекомендуется проводить в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.

Практические возможности разработанной методики можно проиллюстрировать на примере расчета огнестойкости двухпролетной четырехэтажной рамы из монолитного железобетона.

Рассматриваемая конструкция представляет собой подземное четырехэтажное сооружение с симметричным прямоугольным поперечным сечением (рис. 3), на нижнем уровне которого располагается

Рис. 3. Поперечное сечение рассматриваемого сооружения



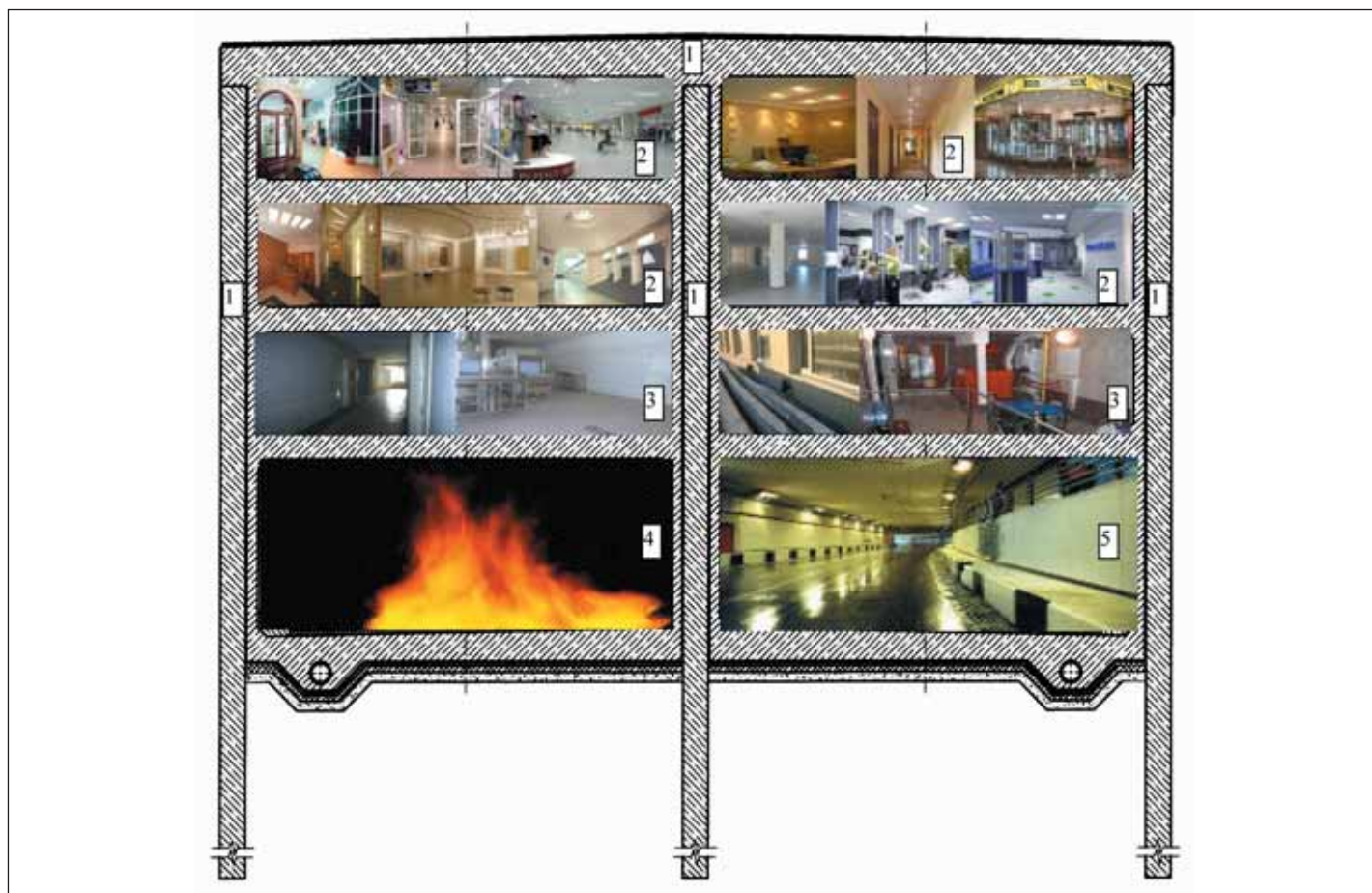


Рис. 4. Проектная аварийная ситуация в рассматриваемом сооружении: 1 – монолитные части несущей конструкции; 2 – торговые и офисные помещения; 3 – технические помещения; 4 – аварийный проезд тоннеля; 5 – действующий проезд тоннеля

автодорожный тоннель, а на верхних трех этажах – технические и торгово-офисные помещения.

Требуемый предел огнестойкости железобетонных несущих конструкций тоннеля равен 180 минутам. Согласно техниче-

скому заданию, при расчетах огнестойкости рассматривается объёмный пожар в одном из проездов тоннеля, когда обогреву газовой средой с температурой T_f подвержены поверхности перекрытия и стен этого проезда (рис. 4).

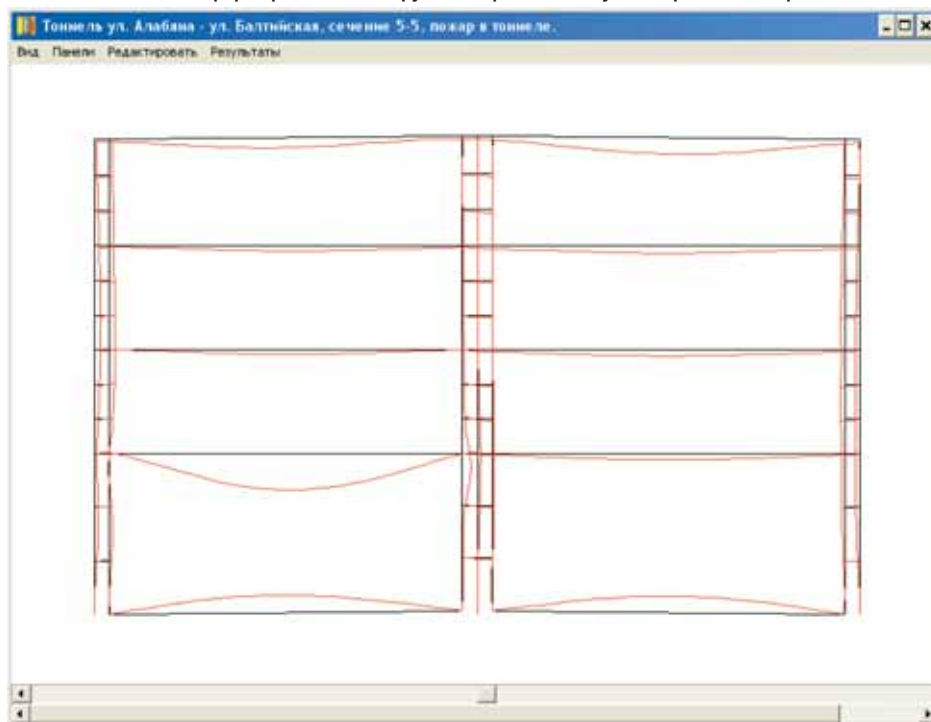
Теплота от необогреваемых поверхностей конструкций на аварийном участке передается во вмещающий массив грунта, с которым конструкции находятся в идеальном тепловом контакте, а также в воздух помещений, смежных с аварийным участком.

В ходе расчетов варьировали диаметром арматуры, шагом армирования и толщиной защитного слоя бетона. Полученные результаты использовали при расчетах несущей способности рассматриваемой конструкции при совместном действии тепловых и силовых нагрузок.

Кинематика деформирования конструкции через 3 часа пожара в левом проезде тоннеля показана на рис. 5. Видно, что прогиб обогреваемого участка перекрытия над тоннелем существенно больше, чем необогреваемых перекрытий, что является следствием реализации в нём температурной кривизны, обусловленной неравномерным прогревом. Видна также несимметричность деформирования левого и правого пролётов верхнего перекрытия, согласующаяся с описанной выше несимметрией распределения в этом перекрытии внутренних силовых факторов, что обусловлено перераспределением их в неравномерно нагреваемой статически неопределимой рассматриваемой конструкции.

На рис. 6 приведены распределения по высоте приопорного сечения обогреваемого участка перекрытия напряжений, возник-

Рис. 5. Кинематика деформирования конструкции через 180 минут пожара в левом проезде тоннеля



кающих в бетоне в моменты времени 0, 60, 120 и 180 минут от начала огневого воздействия по стандартному температурному режиму. Видно, что эпюра напряжений с течением времени изменяет свои очертания, что обусловлено появлением в неравномерно прогреваемом сечении температурных напряжений и изменением модуля упругости бетона и арматуры по мере прогрева, а также физической нелинейностью деформирования бетона.

Максимум сжимающих напряжений в бетоне по мере прогрева незначительно снижается, что вызвано смещением нейтральной оси сечения вверх, к непрогретой его части. Можно видеть, что наибольшие по абсолютной величине сжимающие напряжения в непрогретой части сечения во все рассматриваемые моменты времени не превосходят величины нормативного сопротивления бетона (22 МПа).

Признаки разрушения сжатого бетона в элементах рассматриваемой конструкции в течение 180 минут нагрева по обоим рассматриваемым режимам огневого воздействия отсутствуют.

Таким образом, несущая способность рассматриваемой конструкции в течение 180 минут огневого воздействия на внутреннюю поверхность стен и перекрытия левого пролета автодорожного тоннеля сохраняется, следовательно, предел её огнестойкости составляет не менее требуемого значения.

Разработанные математические модели, алгоритмы и пакет программ подробно изложены авторами в фундаментальной монографии [13]. Они могут использоваться в качестве инструментальных средств для проведения поверочных расчетов огнестойкости и рационального проектирования многоэлементных пространственных силовых конструкций классов статически определимых и статически неопределимых стержневых систем, выполненных из армированных материалов, с высокой степенью резервирования и с учетом развития в них пластических деформаций, деградации материала и накопления повреждений в сечениях отдельных элементов.

Список литературы

1. Милованов А. Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.
2. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
3. Романенков И. Г., Зигерн-Корн В. Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 240 с.
4. Баратов А. Н., Андрианов Р. А., Корольченко А. Я. Пожарная опасность строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
5. Ройтман В. М. Оценка огнестойкости конструкций с учетом их взрывообразного

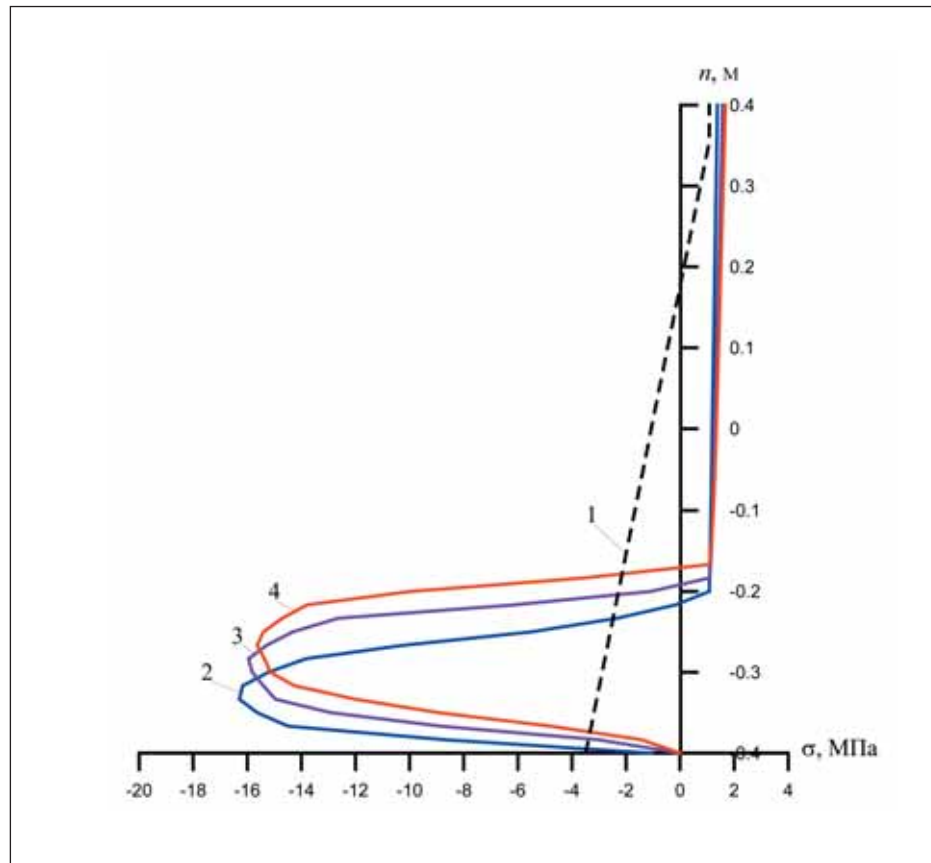


Рис. 6. Распределение по высоте приопорного сечения перекрытия тоннеля напряжений, возникающих в бетоне до нагрева (кривая 1), а также через 60 (кривая 2), 120 (кривая 3) и 180 (кривая 4) минут огневого воздействия по стандартному температурному режиму

разрушения. – В кн. Огнестойкость строительных конструкций: Сб.тр. вып.4. – М.: ВНИИПО, 1986. – С. 58–70.

6. Давыдкин Н. Ф., Страхов В. Л., Каледин Вл. О. Метод конечных элементов в расчетах огнестойкости неоднородных конструкций сложной структуры и формы. Альманах «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций». – № 3–4, 1996. – С. 44–54.

7. Давыдкин Н. Ф., Кривошеев И. Н., Страхов В. Л. Расчет прогрева в условиях пожара железобетонных конструкций подземных сооружений. Пожаровзрывобезопасность, т. 5, № 3, 1996. – С. 15–22.

8. Давыдкин Н. Ф., Страхов В. Л., Гаращенко А. Н. и др. Огнестойкость конструкций подземных сооружений и экономичные пути ее повышения. Альманах «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций». – № 5–6, 1996. – С. 59–64.

9. Давыдкин Н. Ф., Страхов В. Л., Гаращенко А. Н. и др. Огнестойкость конструкций подземных сооружений. // Подземное пространство мира. – № 2, 1997. – С. 64–55.

10. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Крутов А. М., Мельников С. В., Давыдкин Н. Ф. Оптимизация огнезащиты строительных конструкций // Пожаровзрывобезопасность, т. 6, № 1, 1997. – С. 26–35.

11. Страхов В. Л., Гаращенко А. Н., Крутов А. М., Бобряшов В. М., Давыдкин Н. Ф. Некоторые результаты исследований

легкой огнезащиты из термостойких базальтоволоконистых материалов на повышенные пределы огнестойкости. // Альманах «Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций». – № 1, 1997. – С. 51–58.

12. Страхов В. Л., Давыдкин Н. Ф., Каледин Вл. О. Методика и сертифицированные программные комплексы для расчетов огнестойкости железобетонных строительных конструкций // Пожарная безопасность в строительстве – 2010. – № 6. – С. 32 – 38.

13. Огнестойкость конструкций подземных сооружений. Давыдкин Н. Ф., Страхов В. Л., под ред. Дормана И. Я. – М.: Изд. ТИМР. – 296 с.

14. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. – М.: Наука, 1966. – 752 с.

Ключевые слова

Подземные сооружения, несущие конструкции, пожар, огнестойкость.

Underground structures, fire, fire resistance.

Для связи с авторами

Давыдкин Николай Федорович
firesafe@mail.ru
Страхов Валерий Леонидович
strakhovvl@gmail
Каледин Владимир Олегович
kaledinvl@mail.ru
Дорман Игорь Яковлевич
igor.dorman@mail.ru

РАСЧЕТ ГОРОДСКОГО ТОННЕЛЯ НА АВТОТРАНСПОРТНУЮ НАГРУЗКУ

CALCULATION OF THE URBAN TUNNEL FOR ROAD LOAD

М. Х. Миралимов, Д. Усманов, А. Каршибоев, Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан
M. Kh. Miralimov, D. Usmanov, A. Karshiboev, Tashkent State Transport University, Uzbekistan

Совершенствование объёмно-планировочных решений конструкций транспортных тоннелей и метрополитена, теории и методов расчета сооружений, учитывающих свойства грунтового массива при различных внешних воздействиях, остается важнейшим и актуальным вопросом подземного строительства.

В статье рассмотрены результаты расчета транспортного тоннеля мелкого заложения с железобетонной обделкой сводчатого очертания со складчатым поперечным сечением от действия грунтовой засыпки и транспортных нагрузок на поверхности.

Improvement of space-planning solutions for the structures of transport tunnels and the subway, the theory and methods of calculating structures that take into account the properties of the soil massif under various external influences remain the most important and topical issues of underground construction. The article deals with the results of the calculation of a shallow transport tunnel with a reinforced concrete lining of a vaulted outline with a folded cross-section, from the action of soil backfilling and transport loads on the surface.

Грунтовой массив обладает многими различными физико-механическими, гидрогеологическими и другими свойствами, которые способны оказать отрицательное воздействие на тоннельную конструкцию. При коэффициенте пассивного отпора более 200 кгс/см^2 грунтовая среда может полностью препятствовать возможным деформациям обделки тоннеля. Проведенные исследования показали, что свойства грунта, окружающего обделку тоннеля, с истечением определенного времени могут изменяться, таким образом изменяя, в свою очередь, работу конструкции обделки [1].

Для тоннельных обделок, расположенных на небольшой глубине, представляют наибольшую опасность большие смещения грунтов, особенно интенсивное воздействие транспортной нагрузки на поверхности земли [2]. Однако проектирование тоннельных сооружений из железобетонных сводчатых элементов целесообразно при любых сочетаниях плана и профиля местности (на кривых в плане, при наличии вертикальных кривых как выпуклых, так и вогнутых и т. д.), что обеспечивает равномерное распределение временных нагрузок от автотранспорта и значительно снижает статические и динамические воздействия [3].

Для объективной оценки конструкции из складчатых сводов (рис. 1) необходимо провести исследовательскую работу, в рамках которой модель системы «обделка – грунтовой массив» помимо веса грунта, загружается современными транспортными нагрузками, и фиксируются параметры напряженно-деформированного состояния. Наиболее перспективным выглядит пол-

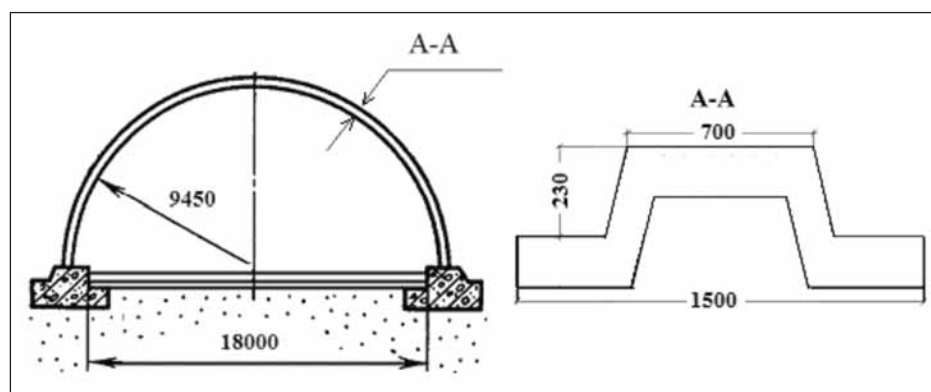
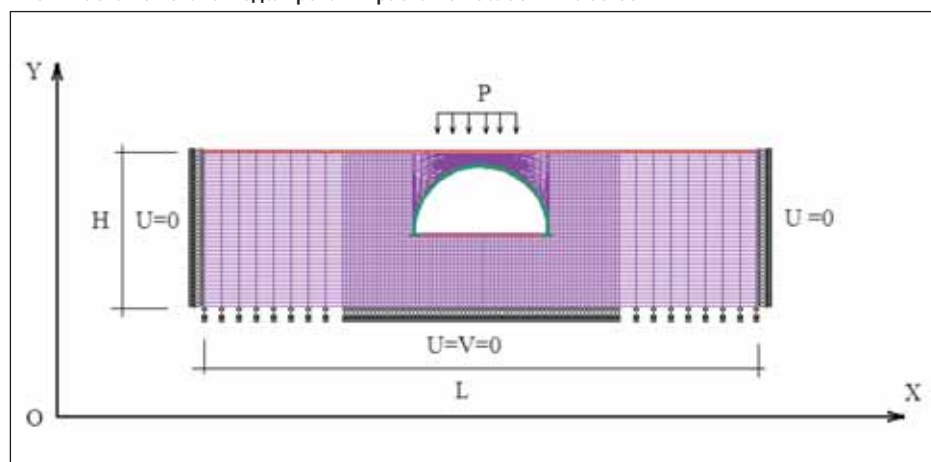


Рис. 1. Схема поперечного сечения сводчатого тоннеля со складчатым сечением, мм

ное моделирование работы при помощи метода конечных элементов с использованием изопараметрических и стержневых плоских элементов [4]. При достаточном

разбиении сетки из конечных элементов можно получить распределения главных и касательных напряжений в заданной области. Для этого используем разработанную

Рис. 2. Расчетная схема моделирования расчетной области в плоскости



нами программу расчета методом конечных элементов «MODUL-C» [5]. Данная программа является инструментом для производства расчетов тоннелей типовой конфигурации. В результате расчетов определяются внутренние усилия в обделке тоннеля (изгибающие моменты, поперечные и нормальные силы) и напряжения в грунте, окружающем обделку.

Характеристика объекта исследования и расчет на заданные воздействия

Численное решение задачи поведения сводчатой конструкции под действием грунтовой засыпки и транспортной нагрузки может быть использовано для определения характера и закона распределения внутренних усилий в сечениях свода, моделирующих конструкцию тоннельной обделки. Пролет железобетонного свода 19,95 м, стрела подъема в ключе 9,45 м. Свод покрывается засыпным грунтом высотой 2 м от ее поверхности с объемным весом $\gamma = 0,019 \text{ МН/м}^3$, на 0,25 м толщины имеется асфальтобетонное дорожное покрытие с объемным весом $\gamma = 0,024 \text{ МН/м}^3$. Свод изготовлен из бетона класса прочности В27,5, модуль упругости бетона $E_b = 31,5 \cdot 10^3 \text{ МПа}$, объемный вес бетона $\gamma_b = 0,025 \text{ МН/м}^3$.

При этом введем следующие параметры для расчета: $F = 0,3629469 \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения и $J = 0,009763039 \text{ м}^4$ – момент инерции поперечного сечения тон-

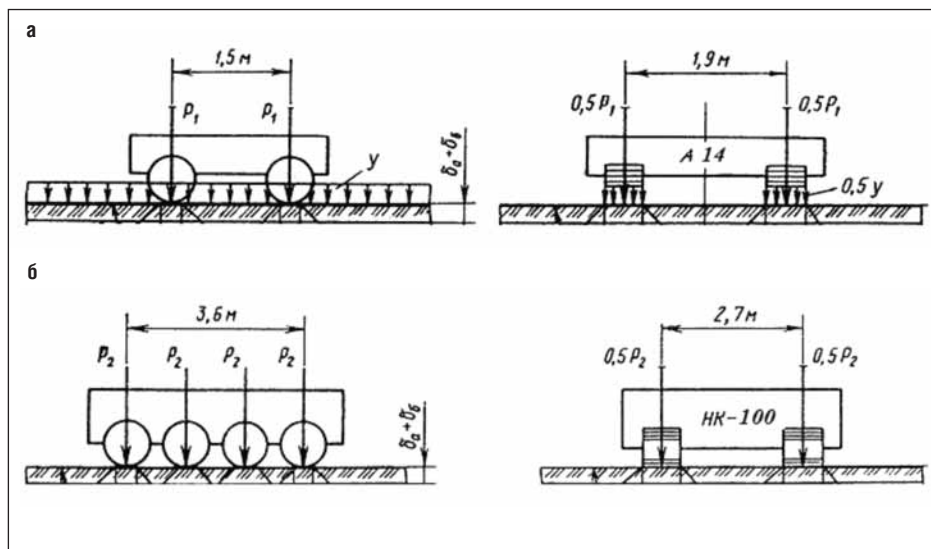


Рис. 3. Схема определения вертикального давления от автотранспортных средств: а – А14, б – НК-100

нельной конструкции. Грунт, окружающий тоннель, имеет осадочные характеристики, поэтому рассматриваем следующие величины: $E = 12 \text{ МПа}$, $\nu = 0,3$. Область, в которой прокладывается тоннель, имеет соответствующие кинематические граничные условия, где $H = 30 \text{ м}$, $L = 80 \text{ м}$ (рис. 2). На первом этапе произведем расчет на постоянную нагрузку с учетом собственного веса тоннеля, вышележащего веса дорожного покрытия и окружающего грунта. Затем совместно со всеми постоянными нагрузками рассмотрим вари-

анты, где временная подвижная автотранспортная нагрузка находится в двух схемах – А14 и НК-100 (рис. 3) на основании [6].

На рис. 4а приведена картина деформирования области от воздействия собственных масс сооружения, окружающего грунта и дорожного покрытия, а на рис. 4б совместно временной нагрузкой А14.

Следует сказать, что 1-й тип транспортной нагрузки существенно влияет на деформирования области. Для просмотра отчетливой картины на рис. 5 и 6 приводятся изохромы

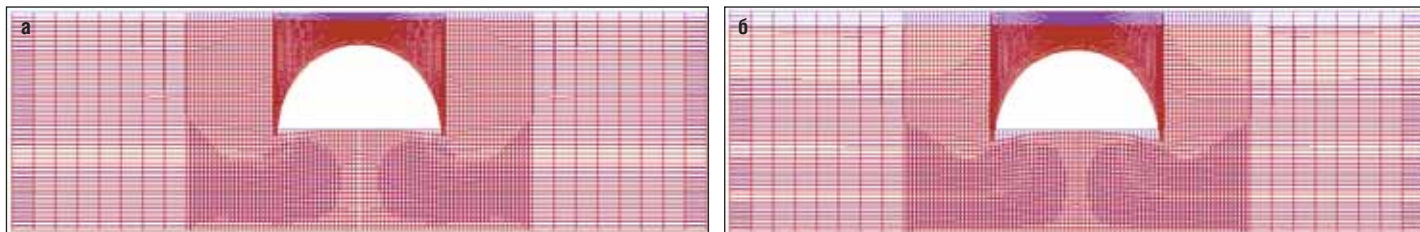


Рис. 4. Картина деформирования области: а – от постоянной нагрузки, б – от временной подвижной нагрузки А14

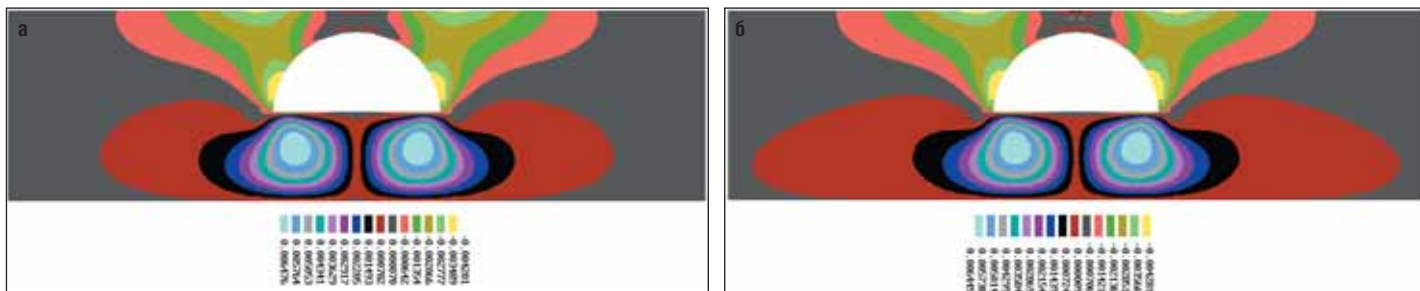


Рис. 5. Изохромы горизонтальных перемещений, м: а – от нагрузки А14, б – от нагрузки НК-100

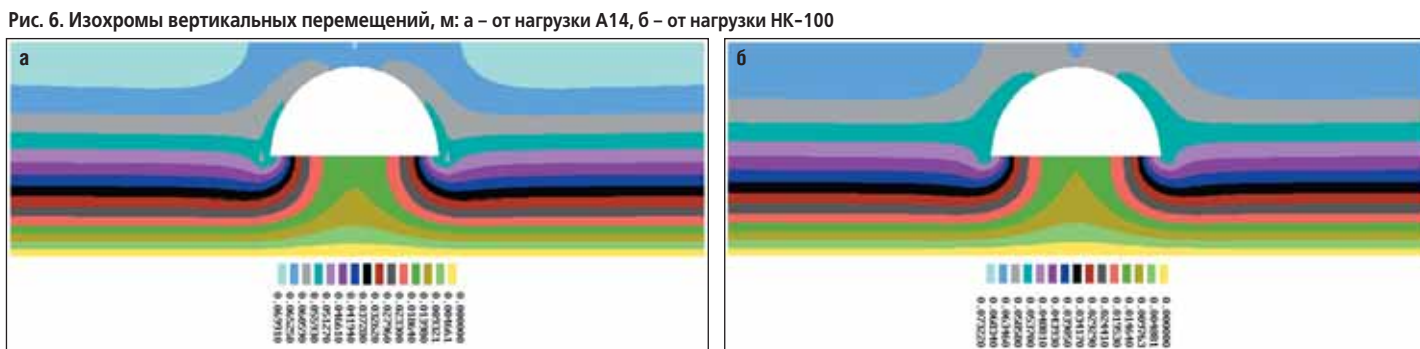


Рис. 6. Изохромы вертикальных перемещений, м: а – от нагрузки А14, б – от нагрузки НК-100

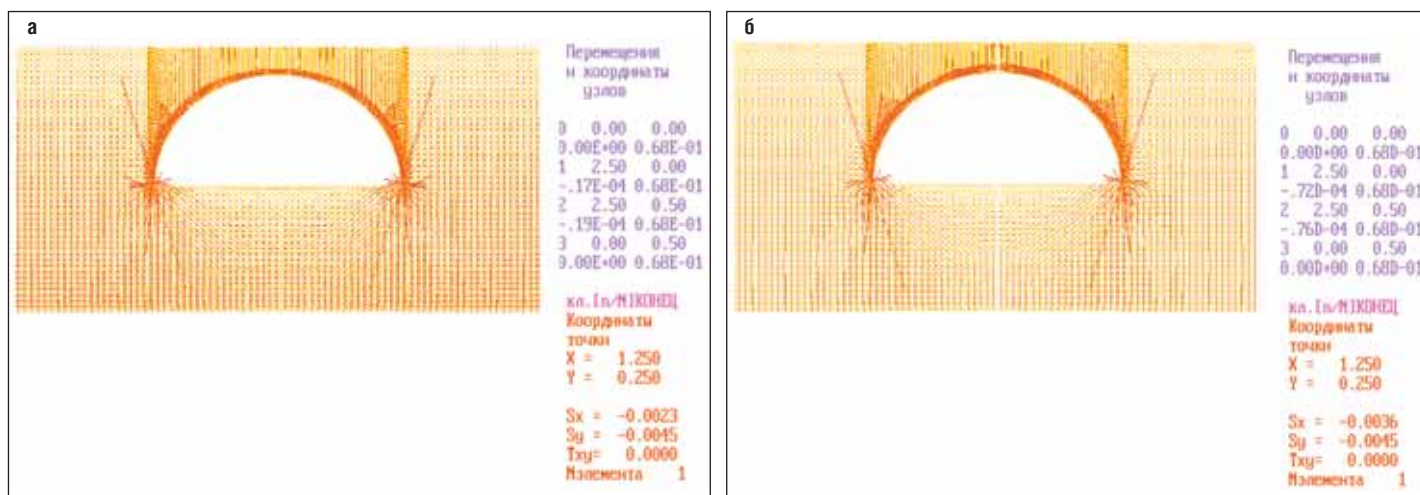


Рис. 7. Векторное поле главных напряжений, МПа: а – от нагрузки А14, б – от нагрузки НК-100

горизонтальных и вертикальных перемещений от нагрузок А14 и НК-100. В итоге обе нагрузки дают близкие результаты. В пятых плитах тоннельного свода появляются максимальные перемещения. На рис. 7 приведены векторные поля главных напряжений σ_1 и σ_2 , что доказывает вышесказанное. На рис. 8–10 показаны изохромы горизонтальных σ_x , вертикальных σ_y и касательных напряжений τ_{xy} .

Из рисунков видно, что напряжения, переходя из грунтовой среды к элементам тоннельной конструкции, резко меняют свои значения.

В последующем они могут быть использованы для трактовки влияния нагружающего эффекта пассивных сил со стороны грунтовой среды. В связи с этим на рис. 11 приведены распределения напряжений σ_x , σ_y , τ_{xy} за обделкой полусвода (симметричная часть).

Длина окружности полусвода насчитывает от 1 до 29 узлов, начиная с нижней части свода до центральной части тоннеля. Здесь во всех трех случаях максимальные напряжения получаются горизонтальными и, приближаясь к центру тоннеля, уменьшаются. А вертикальные напряжения, наоборот, приближаясь к центру тоннеля, увеличиваются, но касательные напряжения при этом меняют знак. Временные нагрузки от авто-

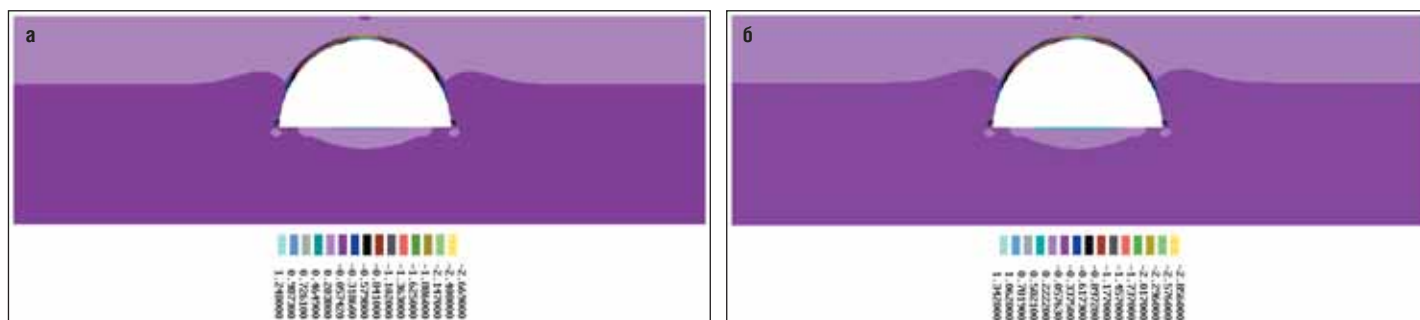


Рис. 8. Изохромы горизонтальных напряжений σ_x , МПа: а – от нагрузки А14, б – от нагрузки НК-100

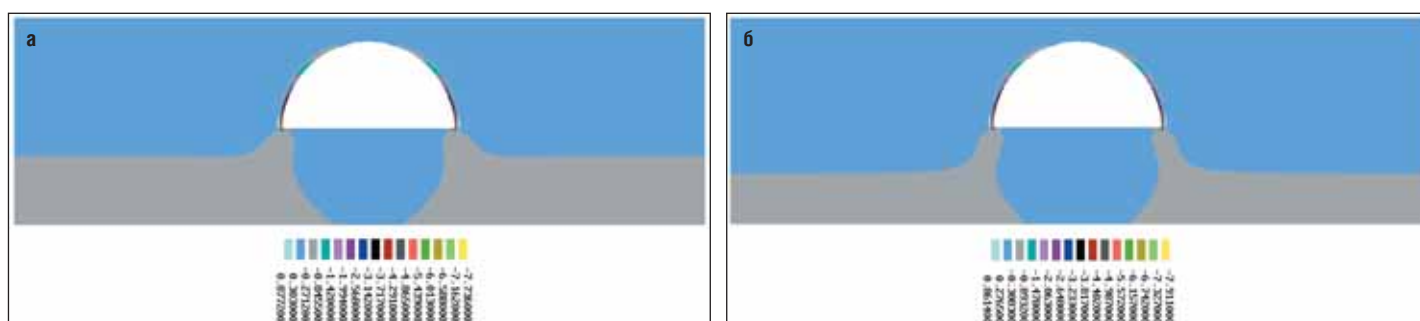


Рис. 9. Изохромы вертикальных напряжений σ_y , МПа: а – от нагрузки А14, б – от нагрузки НК-100

Рис. 10. Изохромы касательных напряжений τ_{xy} , МПа: а – от нагрузки А14, б – от нагрузки НК-100



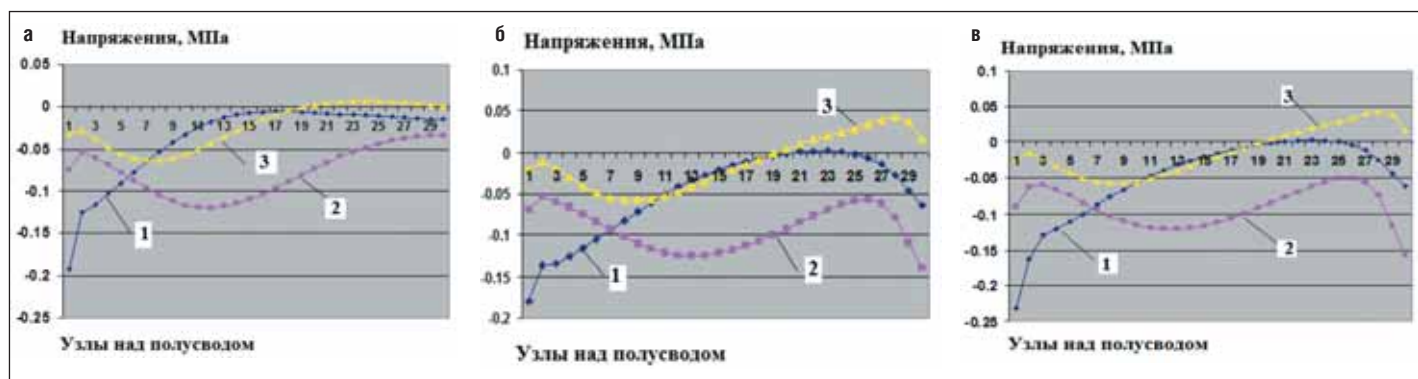


Рис. 11. Распределение напряжений σ_x (1), σ_y (2), τ_{xy} (3), МПа: а – от постоянной нагрузки, б – от нагрузки А14, в – от нагрузки НК-100

транспорта существенно влияют на характер распределения напряжений, особенно в зоне их приложения. Увеличение напряжений от нагрузки НК-100 больше примерно на 10–12 %, чем нагрузки А14.

При этом наблюдается эффект пассивного отпора грунта со стороны тоннеля, что увеличивает значения горизонтальных напряжений за стенкой тоннеля. Далее на основе приведенных напряжений построены эпюры изгибающих моментов и продольных сил для всех случаев нагружения тоннельной конструкции, которые показаны на рис. 12–13. При этом максимальные значения моментов возникают в замке свода и продольных сил в нижней части свода.

Заключение

Анализ решений показывает, что автотранспортная временная нагрузка дает существенный вклад на увеличение прогиба и внутренних усилий в виде изгибающего момента и продольной силы в сечениях железобетонной сводчатой конструкции. Максимальный прогиб от суммарного воздействия нагрузки получился в ключе свода равный $v = 0,033$ м, значения максимального момента в этом сечении равны $M = 530,46$ кН·м, а продольной сжимающей силы $N = 820,23$ кН.

Ключевые слова

Тоннель, конструкция, грунт, транспортные нагрузки.

Tunnel, structure, soil, transport loads.

Список литературы

1. Рашидов Т. Р., Ишанходжаев А. А. Сейсмостойкость тоннельных конструкций метрополитена мелкого заложения. Ташкент, Фан, 1994, с. 133
2. Маковский Л. В., Кравченко В. В., Сула Н. А. Автодорожные и городские тоннели России. Учебное пособие, М.: МАДИ, 2016, –136 с.
3. Мубаракوف Я. Н. Сейсродинамика подземных сооружений типа оболочек. Фан, Ташкент, 1990, с. 211.
4. Секулович М. Метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 1993.
5. Миралимов М. Х., Алменов Х., Болтаев И., Маджидов Н. Разработка пакета программ по расчету транспортных сооружений методом конечных элементов. // Вестник ТАДИ, Ташкент: ТИПСЭД, 2013,

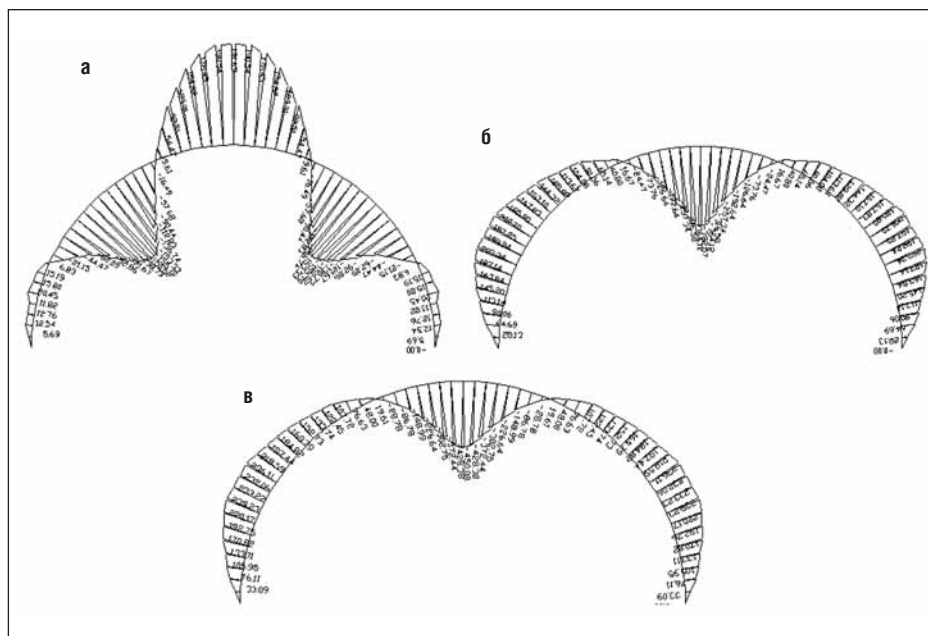


Рис. 12. Эпюры изгибающих моментов, кН·м: а – от постоянной нагрузки, б – от нагрузки А14, в – от нагрузки НК-100

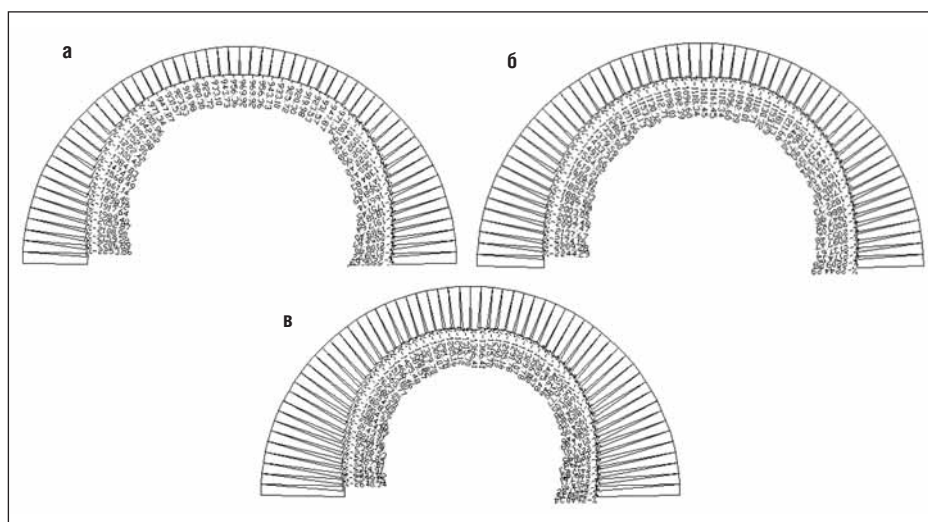


Рис. 13. Эпюры продольных сил, кН: а – от постоянной нагрузки, б – от нагрузки А14, в – от нагрузки НК-100

№ 3–4, – С. 56–61 (05.00.00; № 15).

6. Миралимов М. Х. Numerical simulation of deformation of engineering design interacting with soil. // Вопросы вычислительной и прикладной математики. Ташкент, Выпуск 118, 2007, С. 85–97.
7. Miralimov M. Kh. Computing program of calculation of reinforced concrete structures.

Proceedings of the Republican scientific conference «Development of autoroad complex in Republic of Uzbekistan». Tashkent, 27–28 September, 2001, pp. 18–21.

Для связи с авторами

Миралимов Мирзахид Хамитович
mirzakhid_miralimov@yahoo.com

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НАД СТАНЦИЕЙ МЕТРО «ЧКАЛОВСКАЯ»

SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT FOR THE CONSTRUCTION OF A MULTIFUNCTIONAL COMPLEX ABOVE THE METRO STATION «CHKALOVSKAYA»

С. В. Коваль, д. т. н., А. А. Пискунов, д. т. н., Е. А. Пестрякова, к. т. н., А. Н. Сонин, к. т. н., Е. В. Мазур, к. т. н.,
ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»

И. Я. Харченко, д. т. н., Национальный исследовательский центр Московского государственного строительного университета

А. И. Харченко, к. т. н., ООО «НИЦ ПС»

А. А. Куниевский, ООО «Эссет Менеджмент»

S. V. Koval, A. A. Piskunov, E. A. Pestriakova, A. N. Sonin, E. V. Mazur, I. Y. Kharchenko, A. I. Kharchenko, A. A. Kunievskiy

Строительство зданий и сооружений повышенного уровня ответственности (класс КС-3) требует, согласно Техническому регламенту о безопасности зданий и сооружений, научно-технического сопровождения (НТС). Сооружение котлованов в плотной городской застройке оказывает влияние на окружающие здания, коммуникации, метрополитены. В статье рассматриваются результаты научно-технического сопровождения при строительстве строящегося высотного здания в непосредственной близости от существующего вестибюля станции «Чкаловская» ГУП «Московский метрополитен».

The construction of buildings and structures of a high level of responsibility (class KS-3), according to the Technical Regulations on the safety of buildings and structures, requires scientific and technical support (STS). The construction of pits in dense urban areas has an impact on the surrounding buildings, communications, subways. The article deals with the results of scientific and technical support in the construction of a high-rise building under construction in the immediate vicinity of the existing lobby of the Chkalovskaya station of the Moscow Metro State Unitary Enterprise.

Для обеспечения безопасной эксплуатации действующих метрополитенов необходимо предусмотреть мероприятия по сохранности фундаментов вестибюлей метро, тоннелей. Решение этих вопросов требует построения математической модели развития осадок при возведении котлованов зданий и сооружений, проведения превентивных мероприятий по созданию предварительного напряжения в грунтовой массе специальными инъекционными растворами [5, 6] и подъема фундаментов на 1–2 мм методом компенсационного нагнетания [1–4], обеспечения мониторинга планово-высотного положения фундаментов в процессе строительства.

Научно-техническое сопровождение инженерных изысканий, проектирования и строительства зданий и сооружений повышенного уровня ответственности (класс КС-3) предусматривается Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений.

В процессе эксплуатации станций и тоннелей метрополитена возникает необходимость строительства над ними технически сложных высотных объектов, которые требуют особого подхода к обеспечению безо-

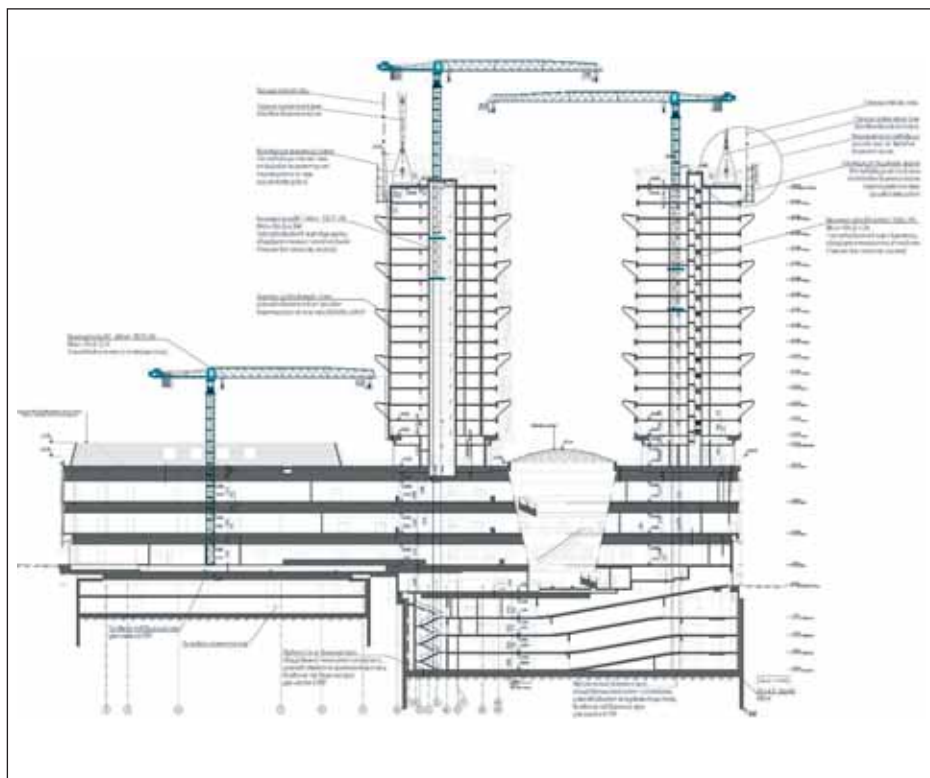


Рис. 1. Схема строительства МФК

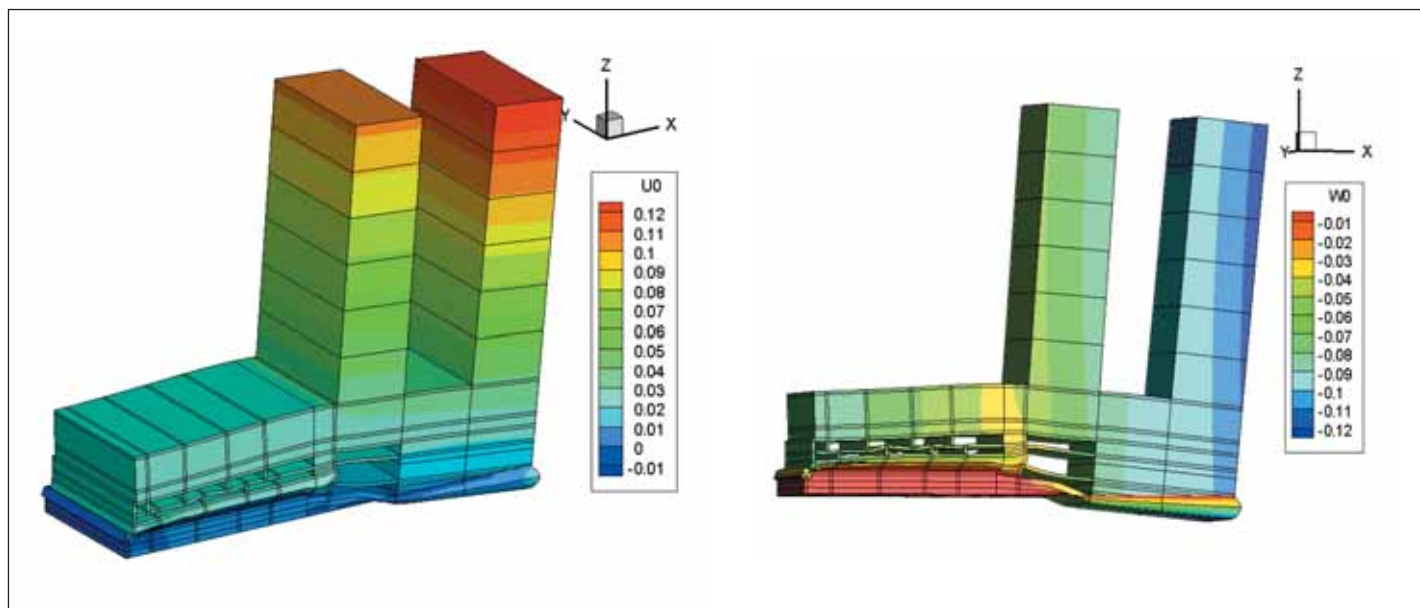


Рис. 2. Осадки фундамента вестибюля станции метро без проведения работ по компенсационному нагнетанию после первого и третьего этапа работ

пасной эксплуатации и сохранению плано-высотного положения фундаментов станций и пути метрополитена. Такая задача стояла при возведении 21-этажного многофункционального комплекса (МФК) над станцией метро «Чкаловская» (рис. 1).

При строительстве наземной части высотных объектов определены три этапа в последовательности строительства:

I этап – возведение с 1 по 4 этаж высотной части комплекса вне зоны вестибюля в осях 9–35;

II этап – возведение с 5 по 17 этаж высотной части комплекса и с 1 по 4 этаж торговых площадей над вестибюлем метро;

III этап – возведение с 18 по 21 этаж высотной части комплекса.

В задачи обеспечения НТС входило:

- участие в принятии решений по вопросам начала, окончания, приостановки (при необходимости) и завершения этапов выполняемых работ по сохранению плано-высотного положения здания;
- определение требований к составу и периодичности контрольных мероприятий при выполнении работ;
- участие в работах по определению технологии и состава выполняемых работ по мониторингу осадок строящегося объекта и существующего вестибюля станции «Чкаловская» ГУП «Московский метрополитен» требованиям, установленным проектной и рабочей документацией;
- ежедневный контроль соответствия результатов измерений мониторинга осадок строящегося объекта и существующего вестибюля станции ГУП «Московский метрополитен» «Чкаловская» требованиям, установленным проектной и рабочей документацией;
- участие в работе научно-технического совета.

Для решения задачи в рамках НТС была построена математическая модель, позволяющая осуществить прогноз развития пере-

мещений сооружения в процессе инъекционных работ [10–15], и выполнены расчеты:

- по теории связанной фильтрации и пластичности, в которой предусматривается управляемое изменение порядка и количества нагнетаемого состава в область, моделирующую инъектирование с оценкой плано-высотного положения здания;
- по теории пластичности, в которой предусматривается управляемое изменение порядка и количества нагнетаемого состава и его пересчета в объемную деформацию для оценки плано-высотного положения здания.

Расчет нагружения станции метро показал, что выполнение СМР по сооружению МФК без проведения работ по компенсационному нагнетанию после первого этапа нагружения дает осадку на 1 см, второго этапа – на 5 см, третьего этапа – 12 см (рис. 2).

Для проведения расчетов с учетом компенсационного нагнетания массив грунта

был разбит на одиннадцать секторов и семьдесят семь зон, принятых в основу расчетов (рис. 3).

В результате проведения многовариантных расчетов были получены результаты необходимого давления инъекционных растворов при компенсационном нагнетании по секторам в массив грунта для сохранения плано-высотного положения фундаментов в процессе сооружения МФК (табл. 1, рис. 4).

Преимуществом технологии компенсационного нагнетания является возможность прогнозирования процессов развития вероятных деформаций и технологических параметров нагнетания, что многократно подтверждалось как отечественной, так и зарубежной практикой [4, 5, 7, 8, 9, 16].

В целях обеспечения безопасной организации работы метрополитена и контроля плано-высотного положения фундаментов вестибюля был организован их мо-

Рис. 3. Распределение зон нагнетания

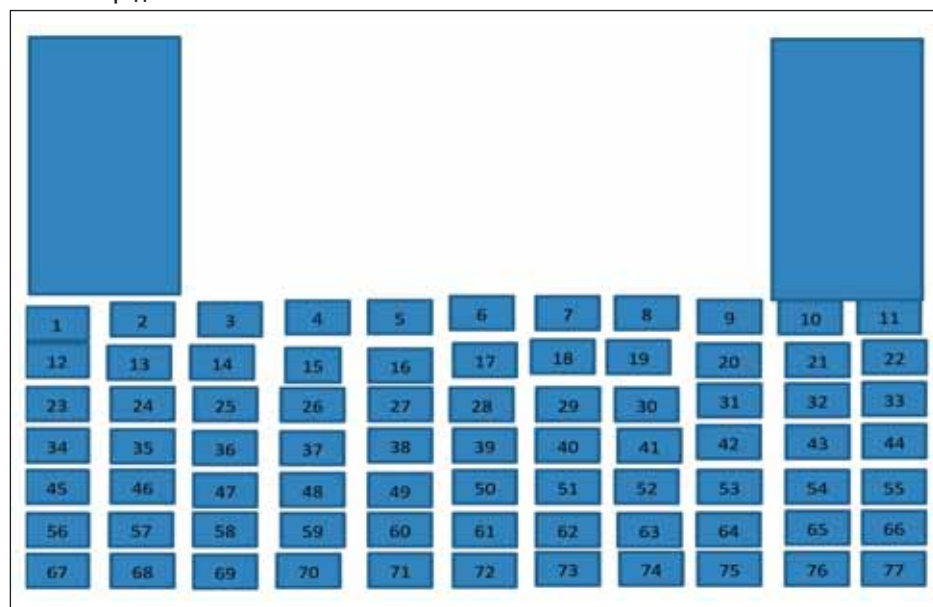


Таблица 1

Этап	Секторы нагнетания										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,1	0,12	0,12	0,12	0,15
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,3	0,3	0,3	0,32
3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,2	0,25	0,35	0,35	0,35	0,36



Рис. 4. Горизонтальное бурение с заполнением затрубного пространства обойменным раствором

мониторинг в процессе строительства МФК, который обеспечивал доступ к результатам показаний датчиков горизонтального нивелирования (ДГН) и давления грунта

(ДДГ) в круглосуточном автоматическом режиме (рис. 5).

В случае возникновения вопросов, связанных с показаниями датчиков при прове-

дении работ по мониторингу планово-высотного положения фундаментов вестибюля станции метрополитена, центром управления подъемом принималось решение по их оперативному решению или, при необходимости, проведению научно-технического совета (рис. 6).

В настоящее время работы по мониторингу строительства МФК осуществляются в дежурном режиме, основные строительные работы по зданию выполнены (рис. 7).

Выводы

1. Для обеспечения безопасной эксплуатации метрополитена при сооружении над ним зданий и сооружений требуется научно-техническое сопровождение проектирования и строительства.

2. В целях подготовки мероприятий по сохранности планово-высотного положения фундаментов необходимо построение математической модели, позволяющей определить давление, объемы и другие технологические параметры для выполнения компенсационного нагнетания при строительстве МФК над станцией метрополитена.

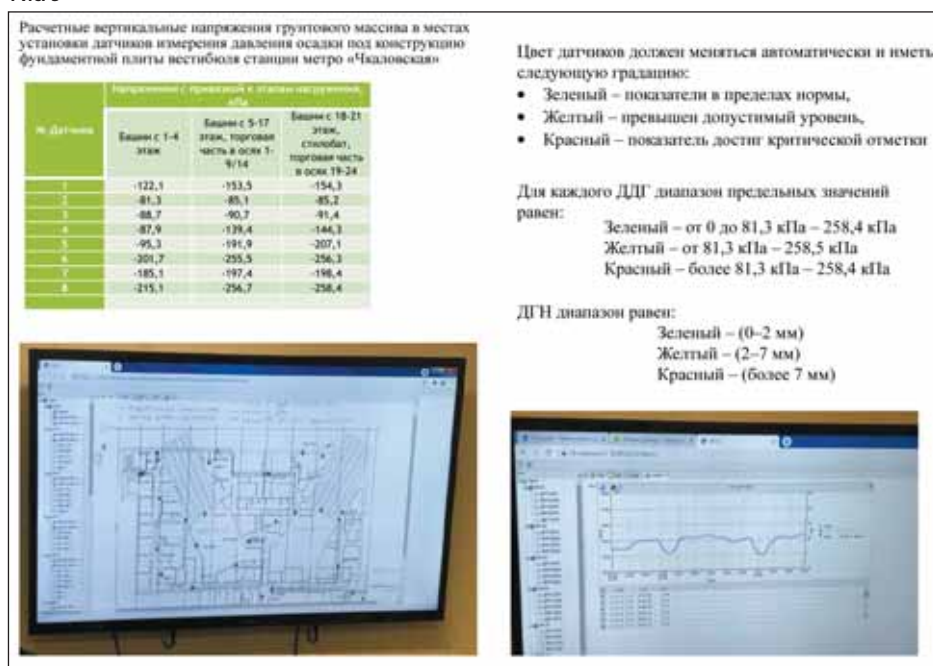
3. В процессе строительства и производства работ по компенсационному нагнетанию специальных растворов в массив грунта следует обеспечить круглосуточный автоматизированный мониторинг планово-высотного положения элементов станций и тоннелей метрополитена.

4. Принятое решение по превентивному подъему фундаментов вестибюля по технологии компенсационного нагнетания специальными растворами в грунтовой массив позволило сохранить станцию метро и возводимый МФК в проектном положении.

Список литературы

1. Chambosse G. State of the art of Compensation Grouting in Germany / G. Chambosse, R. Otterbein. // XVth International conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Istanbul 08.2002.
2. Moseley M. P. Soil fracturing / M. P. Moseley, K. Kirsch, E. Falk // Ground Improvement (Second Edition). – 2004. – P. 227.
3. Gafar K., Soga, K., Bezuijen A., Sanders M. P. M. and Tol A. F. van, (2008). «Fracturing of sand in compensation grouting». Proc. 6st Int.

Рис. 5



Symposium on Geotech. Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Shanghai. 281–286.

4. Чунюк Д. Ю. Влияние геотехнического барьера, устроенного методом компенсационного нагнетания, на деформацию существующего здания при строительстве туннеля. *Естественные и технические науки* / Иртуганова В. Р., Сафронова К. В., № 4, 2015 г., с. 245–248.

5. Bezuijen A. Compensation grouting in sand, fractures and compaction / A. Bezuijen, F. van Tol. // *Proceedings of the 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Rotterdam, 2007. – pp. 1257–1262.

6. Рашендорфер, Ю. Компенсационное нагнетание как способ обеспечения устойчивости зданий и сооружений при проходке тоннелей / Ю. Рашендорфер, В. Н. Жуков, К. Майер // *Метро и тоннели*, № 4. – М., 2008. – С. 26–28.

7. Pleitner M. and Bernatzik W. / A new method of compensating settlement of buildings by injections of cement grout. – 1953.

8. Смирнова Г. О. Компенсационное нагнетание при проходке Лефортовского туннеля под Алексеевским училищем / Г. О. Смирнова, В. Г. Голубев // *Специальные способы работ и материалы, используемые при сооружении городских транспортных тоннелей: сб. науч. тр.* – М.: ЦНИИС, 2003. – С. 120–130.

9. Смолдырев А. Е. Технологическая схема компенсационного нагнетания твердеющих смесей в грунты при строительстве туннеля в Лефортово / А. Е. Смолдырев // *Основания, фундаменты и механика грунтов*, № 1. – М., 2000. – С. 21–22.

10. СТО НОСТРОЙ 23.18-2011: Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве, Москва, 2012, 63 с.

11. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. Москва, 2004, 168 с.

12. Харченко И. Я., Пестрякова Е. А., Пискунов А. А., Харченко А. И., Бетербиев А. С. Э., Сонин А. Н. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей метрополитена и притоннельных сооружений в условиях плотной городской застройки. *Транспортные сооружения*. 2019. Т. 6. № 3. – С. 31.

13. Тер-Мартirosян З. Г. Напряженно-деформированное состояние преобразованного основания. / Абдулмалек Ала Саид // *Основания, фундаменты и механика грунтов*, № 2. 2007. 8–11 с.

14. Беллендир Е. Н., А. В. Александров, М. Г. Зерцалов, А. Н. Симутин. Защита и выравнивание зданий и сооружений с помощью технологии компенсационного нагнетания. *Гидротехническое строительство*. – 2016. – № 2. – С. 15–19.

15. Зерцалов, М. Г., А. Н. Симутин, А. В. Александров. Технология компенсационного нагнетания для защиты зданий и сооружений // *Вестник МГСУ*. – 2015. – № 6. – С. 32–40.

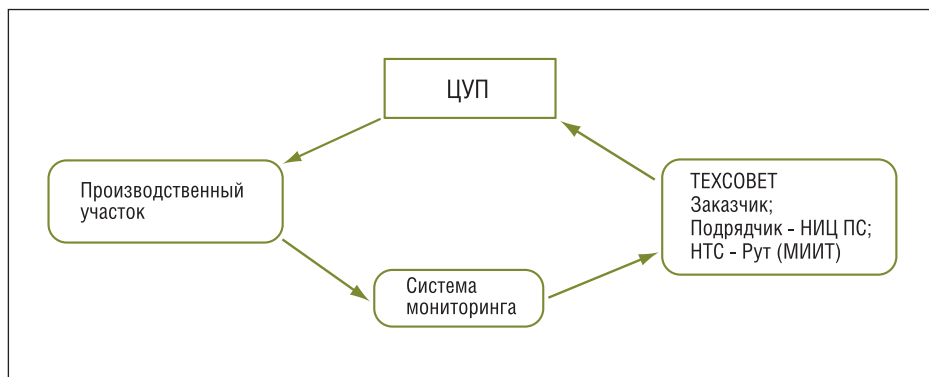


Рис. 6

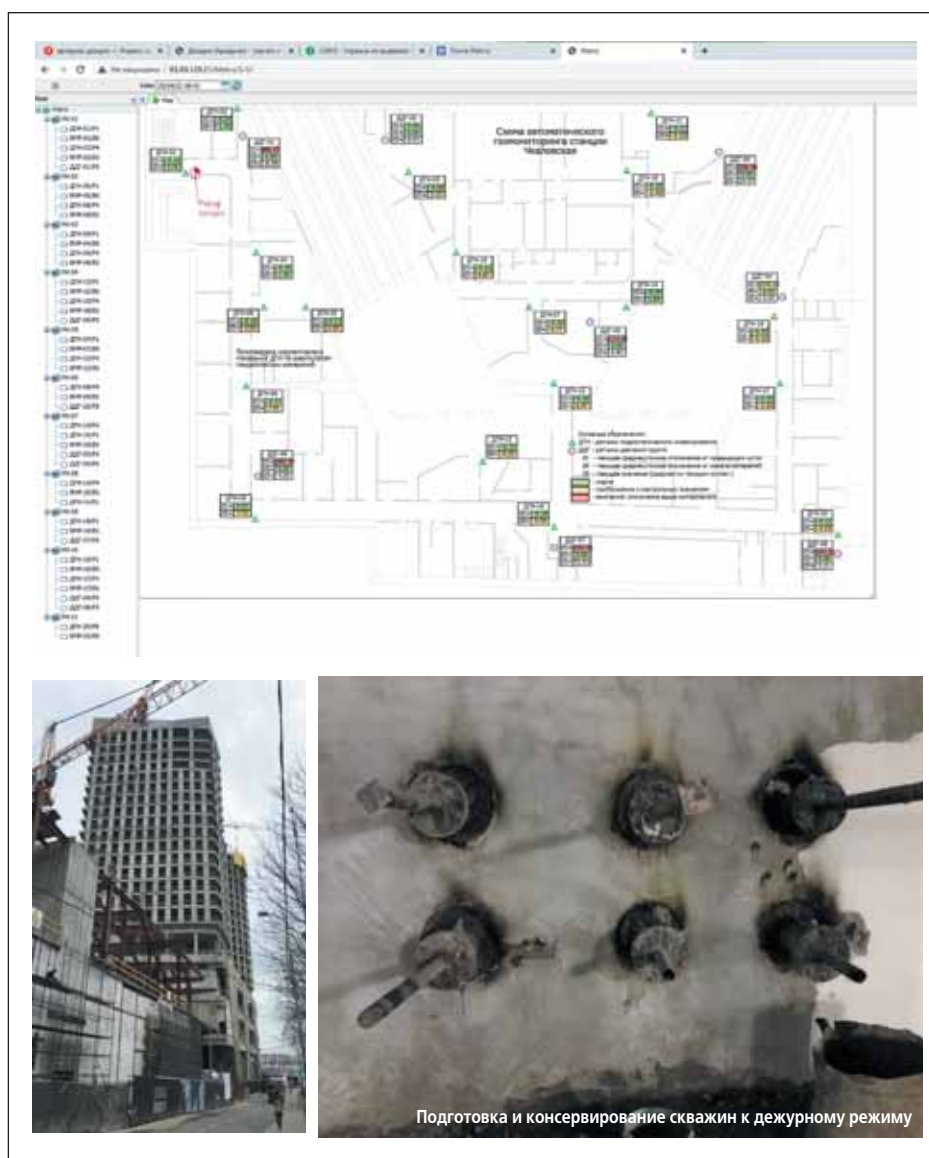


Рис. 7

16. Коваль С. В., Харченко И. Я., Харченко А. И., Пискунов А. А., Смирнов А., Пестрякова Е. А., Мазур Е. В. Обоснование параметров компенсационного нагнетания инъекционных смесей в грунтовые массивы в процессе защиты от деформаций и восстановления плано-высотного положения зданий, сооружений, опор мостов, тоннелей, метрополитенов и других объектов транспортной инфраструктуры // *Русский инженер*. – 2022, № 02(75) – С. 34–39.

Ключевые слова

Метрополитены, математическая модель, компенсационное нагнетание, мониторинг, научно-техническое сопровождение.

Subways, mathematical model, compensatory injection, monitoring, scientific and technical support.

Для связи с авторами

Пискунов Александр Алексеевич
a.piskunov52@mail.ru

РЕКОНСТРУКЦИЯ НАЗЕМНЫХ ПАВИЛЬОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА МОСКВЫ

RECONSTRUCTION OF GROUND PAVILIONS OF THE MOSCOW METRO

А. Р. Попонин, НИТУ «МИСиС»

A. R. Poponin, NUST «MISIS»

Рассматривается современная технология ведения работ по капитальному ремонту наземных павильонов – выходов из станций Московского метрополитена без закрытия движения для пассажиров.

Для создания единого дизайн-кода Московского метрополитена, неостекленные выходы из метро на старых станциях реконструируют под новый остекленный формат с кровлей. Ранее такие работы велись с полным закрытием выхода. Необходимо было создание и дальнейшее согласование с ЦОДД альтернативных наземных путей для прохода пассажиров в зону закрытого выхода.

При ведении работ без полного закрытия выхода, сохраняется его пропускная способность, отсутствует необходимость информирования пассажиров о закрытии выхода и создания альтернативных наземных путей в зону наземного павильона, подлежащего капитальному ремонту.

The modern technology of work on the overhaul of ground pavilions – exits from the metro stations of the Moscow Metro without closing traffic to passengers is considered.

To create a single design code of the Moscow Metro, the unglazed exits from the metro at old stations are reconstructed for a new glazed format with a roof. Previously, such work was carried out with the complete closure of the exit. It was necessary to create and further coordinate with the data center alternative land routes for the passage of passengers to the closed exit zone.

When carrying out work without a complete closure of the exit, its capacity is preserved, there is no need to inform passengers about the closure of the exit and the creation of alternative ground tracks to the zone of the ground pavilion, which is subject to major repairs.

С момента открытия первой линии метрополитена, каждый выход из метро в город представлял собой отдельное произведение искусства [1] и был выполнен по индивидуальному проекту (рис. 1).

В период развития метрополитена во времена Советского Союза были созданы типовые проекты выходов из метро, которые использовались на многих станциях и линиях метрополитена Москвы [2]. Такие выходы были выполнены без остекления и кровли (рис. 2).

У выходов без кровли есть большое количество недостатков, к основным из которых можно отнести:

- необходимость применения более износостойких материалов из-за наличия влаги на ступенях и стенах вестибюля во время выпадения атмосферных осадков;
- необходимость монтажа нагревательных элементов под финишную отделку для исключения образования льда и налипания снега на ступени.

Можно сделать вывод о том, что наземные павильоны без кровли требуют более масштабных и финансово затратных ремонтных работ по сравнению с наземными павильонами с кровлей за один и тот же эксплуатационный период.



Рис. 1. Наземный выход из метро станции «Красные Ворота»

Для создания единого дизайн-кода Московского метрополитена, в настоящее время выходы из метро на старых станциях реконструируют под новый остекленный

формат с кровлей [3]. Однако это потребовало оценить влияние процесса реконструкции на удобства пассажиров при входе и выходе со станций.

Распределение пассажиропотока при закрытии выхода будем рассматривать на примере станции метро «Академическая» Калужско-Рижской линии.

Пассажиропоток на станции составляет 47 700 тыс. человек в сутки.

Режим работы: 05.25 – 01.00.

Выход к улицам Профсоюзная, Дмитрия Ульянова, площади Хо Ши Мина.

Пересадка на другие линии метрополитена отсутствует.

На момент реконструкции со станции метро «Академическая» существовало восемь выходов (рис. 3 и 4):

- выходы № 1 и 2: на ул. Профсоюзная рядом с домом № 1/24;
- выходы № 3 и 4: на ул. Профсоюзная рядом с домами № 2/22 и 4;
- выходы № 5 и 6: на пр. 60-летия Октября рядом с домом № 20;
- выходы № 7 и 8: на пр. 60-летия Октября к площади Хо Ши Мина.

Для упрощения модели предположим, что пассажиропоток распределяется равномерно среди всех выходов.

Тогда согласно данным, указанным выше, на каждый наземный выход из метро со станции «Академическая» приходится по 5 962 тыс. человек в сутки.

Основной пассажиропоток приходится на утренние и вечерние часы и составляет не менее 30 % от общего пассажиропотока в сутки.

Значит, на каждый выход со станции метро «Академическая» в загруженное время приходится не менее 1 788 человек.

Соответственно, при закрытии одного из выходов, на второй ближайший с закрытым выходом приходится пассажиропоток, увеличенный в два раза. Согласно данным, он бы составил порядка 11 924 человек в сутки и не менее 3 577 человек в загруженные часы в утреннее и вечернее время.

Из-за полного закрытия выхода для пассажиров при ведении ремонтно-строительных работ, под реконструкцию возможно было закрыть только один выход, а не два соседних сразу (пример: на ремонт закрывали только 1 выход, вместо 1 и 2 сразу).



Рис. 2. Наземный выход из метро станции «Аэропорт»

Станция метро «Академическая», помимо всего прочего, имеет выгодное расположение выходов – на все стороны выходят по два выхода, расположенные на максимальной близости друг к другу. То есть, при закрытии любого выхода, у пассажиров нет необходимости выходить из станции метрополитена на другую сторону дороги и затем переходить её по наземному переходу, что требует больших временных затрат.

На некоторых станциях метрополитена Москвы выходы одиночные, поэтому при ведении ремонтно-строительных работ и полном закрытии выхода, пассажиры вынуждены выходить со станции в другом месте и затем добираться до зоны закрытого выхода пешком по земной поверхности с помощью наземных регулируемых пешеходных переходов.

На данный момент подрядчиком по реконструкции большого числа наземных выходов из метрополитена Москвы является компания ООО «ПО «Элером» [5].

В рамках программы благоустройства объектов инфраструктуры внеуличного транспорта, в частности устройства навесов павильонов над лестничными сходами Московского метрополитена, работы выполня-

ются по ранее разработанному проекту института «МосТрансПроект».

Разработано три основных типа навесов:

- «Огни города»;
- «Парковый» (в парковых зонах, ст. «Орехово»);
- «Исторический» (ст. «Чкаловская»).

Данные типы навесов были согласованы и получили положительное заключение Москомархитектуры.

На сегодняшний день работы выполняются на 14 станциях (81 навес/выход), где основным типом навесов являются «Огни города».

Ранее последовательность работ осуществлялась следующим образом. До начала ремонтно-строительных работ по согласованному распоряжению определяется перечень наземных вестибюлей, подлежащих реконструкции. После чего проводится тендер на выполнение работ по реконструкции и выбирается подрядчик на выполнение данных работ. Строительная компания-подрядчик составляет ПОС с пояснительными записками и необходимыми расчетами. После согласования и подписания проектной документации и иных документов, компания-подрядчик приступает к

Рис. 3. Карта-спутник с условными обозначениями расположения станции метро «Академическая» и наземными выходами



Рис. 4. Карта-схема наземных выходов со станции метро «Академическая»





Рис. 5. Информационный щит на строительной площадке

ведению работ по реконструкции наземного выхода со станции метрополитена.

На подготовительном этапе проводится инструктаж сотрудников по ведению данных работ, а метрополитен Москвы реализует перечень мероприятий по информированию пассажиров о закрытии наземного выхода на реконструкцию на определенный срок (рис. 5).

Следующий этап – закрытие выхода и создание безопасного ограждения вокруг места проведения работ для пешеходов и автотранспорта.

В зависимости от места ведения работ, в подземном переходе полностью закрывают выход у начала лестничного подъема. В качестве ограждающих конструкций обычно используют ограждающие заборы или плотные листовые материалы (лист профилированного металла, листовые композитные материалы, гипсокартон, деревянные ограждающие конструкции).

Рис. 6. Металлический забор с бетонным основанием



На земной поверхности для ограждения места проведения работ используют многоразовые металлические заборы с бетонными опорно-крепежными основаниями и лампами освещения в верхней части (рис. 6).

После окончания ремонтных работ демонтируют строительные леса, проводят генеральную уборку вокруг и внутри вестибюля, затем разбирают все оградительные конструкции и запускают вестибюль в работу.

Во время производства работ осуществляется постоянный контроль со стороны заказчика. По итогам выполнения работ подрядчик устраняет выявленные замечания и сдает объект с подписанием исполнительными документами и актов сдачи КС-2, КС-14.

При ведении ремонтно-строительных работ без полного закрытия выхода для движения пассажиров, перечень и порядок выполнения работ частично совпадают.

Исключаются подготовительный, первый и заключительный этапы работ, описанные ранее (инструктаж сотрудников по ведению данных работ, перечень мероприятий по информированию пассажиров о закрытии наземного выхода на реконструкцию на определенный срок, закрытие выхода и создание безопасного ограждения вокруг места проведения работ для пешеходов и автотранспорта, демонтаж строительных лесов и запуск вестибюля в работу).

После устройства площадки подрядчик приступает к устройству защитных сооружений (пеналов), которые будут препятствовать попаданию в зону для прохода пассажиров строительных элементов, мусора и т. д. (рис. 7).

Пенал – временное сооружение на лестничном сходе, состоящее из стоек, боковой и верхней защиты, как правило, выполняющейся из профилированного листового материала.

Далее подрядчик, после устройства пенала, начинает выполнять демонтажные работы по ликвидации старого парапета.

После проведения всех демонтажных работ, согласно проекту, выполняется усиление парапета (армирование и бетонирование). В ходе этих работ в тело бетона устанавливаются закладные металлические детали, на которые далее будут установлены колонны будущего навеса.

Все конструкции из металла заводского изготовления, применяемые при строительстве, обрабатываются огнезащитными составами.

Затем отдельные элементы металлоконструкций собираются в единый каркас при помощи болтового соединения. После сборки металлокаркаса выполняется устройство кровли, отделка фасада витражами, отделка парапета гранитом, устанавливается входная группа дверей типа «Метро», в верхней части навеса располагается буква М с подсветкой стойки в цвет линии.

В настоящее время работы по реконструкции, без полного закрытия выхода для движения пассажиров по данной схеме организации и ведения строительных работ, проводятся на более чем десяти станциях.

Исходя из практики реконструкции пешеходных переходов по новой схеме без прерыва движения пассажиров, можно сделать вывод о том, что данная технология является перспективной и имеет право получить повсеместное применение при ведении работ по капитальному ремонту наземных павильонов – выходов со станций метрополитена, а также подземных переходов на территории города Москвы.

Важнейшим положительным аспектом данной технологии является сохранение работоспособности наземного выхода, подлежащего ремонту, для пассажиров, так как в данном случае не происходит перераспределение пассажиропотока, а также отсутствует необходимость согласования с

Рис. 7. Сооружение пенала для прохода пассажиров во время ведения работ по реконструкции



ЦОДД и создания альтернативных путей для пассажиров в зону закрытого выхода.

Основным отличием является создание пенала для прохода пассажиров. При должной организации работ, создание и наличие пенала при ведении работ по капитальному ремонту фактически не влияет на организацию этих работ, технические и экономические показатели, а также время выполнения капитального ремонта данного наземного вестибюля.

Согласно вышесказанному, данная технология имеет большой потенциал для развития и повсеместного применения.

На рис. 8 и 9 показан наземный выход из метро станции «Академическая» до (2010 г.) и после (2021 г.) реконструкции.

Ключевые слова

Метрополитен, наземный выход, реконструкция.

Subway, ground exit, reconstruction.

Список литературы

1. *Retro-view. Станция метро «Красные Ворота»* <https://pastvu.com/p/403196>
2. *Retro-view. Станция метро «Аэропорт»* <https://pastvu.com/p/727836?hl=comment-1565554>
3. *Строй-Мос. Развитие метро Москвы до 2027 г.* <https://stroim.ru/razvitiye-uds/razvitiye-metro>
4. *Яндекс карты. Станция метро «Академическая», фото 2010 и 2021 г.* <https://yandex.ru/maps/213/moscow/>
5. *ООО «ПТО «Элером»* <http://elerom.ru/#about>



Рис. 8. Наземный выход из метро до реконструкции. Станция «Академическая», 2010 г.



Рис. 9. Наземный выход из метро после реконструкции. Станция «Академическая», 2021 г.

«Академическая», фото 2010 и 2021 г.
<https://yandex.ru/maps/213/moscow/>
5. ООО «ПТО «Элером» <http://elerom.ru/#about>

Для связи с автором

Попонин Артем Романович
office.rus-tar@yandex.ru



Уважаемые коллеги!

Информируем вас, что Тоннельная ассоциация России совместно с АО «Мосметрострой» продолжает подготовку к проведению Международной научно-технической конференции **«Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели 2022»**.

На конференции планируется участие российских специалистов и специалистов ближнего зарубежья в сфере проектирования и строительства подземных сооружений: архитекторов, проектировщиков, застройщиков, производителей материалов и технологий, подрядных организаций, представителей органов власти, вузов и научного сообщества.

Планируется заслушать и обсудить доклады по следующим темам:

- Проектирование метрополитенов и подземной инфраструктуры в мегаполисах;
- Научно-техническое сопровождение подземного строительства;
- Применение новейших технологий, материалов и конструкций при строительстве и эксплуатации горных транспортных тоннелей;
- Информационное моделирование при инженерных изысканиях, проектировании, строительстве, эксплуатации метрополитенов и подземных сооружений;
- Перспективы развития транспортных тоннелей Сибири и Дальнего Востока;
- Обеспечение сейсмостойкости, промышленной и пожарной безопасности транспортных тоннелей;
- Подготовка и переподготовка инженерных кадров для подземного строительства.

Для включения в деловую программу конференции необходимо заполнить **анкету участника** и предоставить тезисы выступления, презентации не позднее **17 октября 2022 г.**

Дополнительная информация о точной дате, месте и формате проведения Международной научно-технической конференции «Освоение подземного пространства мегаполисов и транспортные тоннели 2022» будет размещена на сайте Тоннельной ассоциации России <http://rus-tar.ru>.

Контактное лицо – заместитель руководителя Исполнительной дирекции ТАР Смотров Игорь Александрович (тел.: +7 903-132-66-72, 8-495-608-80-32, 8-499-261-27-40; эл. почта: ISmotrov@rus-tar.ru).

Приглашаем принять участие в конференции!

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА НАДЕЖНОЙ И РЕМОНТОПРИГОДНОЙ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

FEATURES OF THE DESIGN AND INSTALLATION OF RELIABLE AND REPAIRABLE WATERPROOFING FOR UNDERGROUND TRANSPORT FACILITIES

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

T. E. Kobidze, Ph.D., D. S. Konyukhov, Ph.D., JSC «Mosinzhpriekt»

Установлена взаимосвязь между ограничительными особенностями применения традиционных гидроизоляционных материалов и наличием в национальных и отраслевых стандартах противоречивых правил по проектированию гидроизоляции подземных сооружений транспортного назначения, возводимых открытым и полужакрытым способами. Это приводило к неверным проектным решениям и аварийным водопрооявлениям в эксплуатируемых сооружениях. Следовательно, возникла необходимость корректировки действующих правил для устранения существующих противоречий, разработки и внедрения в практике строительства инновационных гидроизоляционных материалов и конструктивно-технологических решений по их применению, отвечающих обновленным нормативным требованиям.

К наиболее широко применяемым материалам, допущенным нормативными документами для гидроизоляции подземных сооружений транспортного назначения открытого и полужакрытого способов работ, включая метрополитены, автомобильные и железнодорожные тоннели, подземные стоянки и т. п. (далее – подземные сооружения), относятся битумно-полимерные наплавляемые рулонные материалы и, в меньшей степени, напыляемые полимерные составы на основе битумно-полимерных композитов, полимочевины, метилметакрилатной смолы [1, 2, 3].

Согласно [3, п. 7.1.2], для обеспечения устройства надежной гидрозащиты подземных сооружений покрытие из наплавляемых и напыляемых материалов следует укладывать непосредственно на ограждающие конструкции сооружения с внешней стороны (со стороны воздействия грунтовых вод). Однако указанные материалы обладают способностью адгезионного сцепления только с поверхностью предварительно изготовленного и выдержанного («старого») бетонного основания. Следовательно, необходимым условием для их нанесения на внешние поверхности защищаемых конструкций является доступность изолируемой поверхности. К числу таких конструкций в подземных сооружениях относятся только ограждающие стены, возводимые с пазами для обратной засыпки грунта и плиты покрытия.

Указанное ограничение исключает возможность укладки этих материалов на внешние поверхности защищаемых конструкций, если к ним нет доступа. Это лотковые плиты любой разновидности подземных сооружений, стены, возводимые без пазух для обратной засыпки грунта, и прижимные стенки для несущих «стен в грунте», поэтому: согласно [1, п. 5.6.3.20; 2, п. 5.4.6.4] для гидроизоляции лотковой плиты гидроизоляционное покрытие следует

укладывать на бетонную подготовку; при строительстве подземных сооружений по технологии несущая «стена в грунте» или без пазух для обратной засыпки грунта, согласно [1, п. 5.6.3.24; 2, п. 5.4.6.10], необходимо гидроизоляцию укладывать на поверхность «стен в грунте», а «прижимную» или постоянную стену возвести с плотным прижатием к «стене в грунте» для восприятия ожидаемого гидростатического давления.

Имея нормативный статус, упомянутые правила гидроизоляции ограждающих конструкций служили в качестве руководства для проектирования гидроизоляции в заданных условиях до внесения в [1] изменений № 4 (2021 г.), хотя находились в противоречии с требованием [3, п. 7.1.2] о необходимости укладки гидроизоляционного покрытия непосредственно на внешнюю поверхность ограждающих конструкций.

При практической реализации указанных правил проектирования соблюдается принцип, требующий устройства гидроизоляционной защиты ограждающих конструкций со стороны воздействия грунтовых вод, однако отсутствие адгезионного сцепления с изолируемой поверхностью лишает гидроизоляционное покрытие способности локализовать просочившиеся грунтовые воды в пределах сквозного повреждения и препятствовать бесконтрольной миграции грунтовых вод по всей наружной поверхности защищаемой конструкции (в нарушении требования [1] с Изменениями № 1–4, п. 5.6.3.18) в случае даже единичного фильтрующего повреждения покрытия или технологического шва.

Как показывает практический опыт, это приводит к возникновению аварийной ситуации, в частности:

- к полному обводнению наружной поверхности изолируемой конструкции и, как правило, к проникновению грунтовых вод в сооружение через фильтрующие дефекты бетона и самой железобетонной конструкции.

тонной конструкции (трещины, пустоты, ослабленные и высокопористые участки бетона, технологические и деформационные швы и др.) в виде течей разной интенсивности и влажных пятен на внутренних поверхностях сооружения;

- к потере ремонтпригодности защищаемой конструкции, так как герметизация одного или ряда фильтрующих дефектов (что дало бы положительный эффект при наличии сплошного адгезионного сцепления гидроизоляции с бетонным основанием) приводит к повышению гидростатического давления грунтовых вод и, следовательно, к активизации «спящих» фильтрующих дефектов и к возникновению новых водопроявлений на других участках поверхности обводненной конструкции.

Потеря ремонтпригодности требует проведения дорогостоящих и сложных технологических мероприятий для восстановления водонепроницаемости обводненной конструкции, к числу которых относится применение метода вуального инъектирования для устройства на наружной поверхности защищаемой конструкции гидроизоляционного покрытия или противодиффузионного завеса (ПФЗ) во вмещающем грунтовом массиве.

На практике исключение возможности возникновения подобных аварийных ситуаций требовало устранения противоречий между рассмотренными нормативными правилами по проектированию и устройству гидроизоляции ограждающих конструкций. С этой целью по инициативе авторов совместно с коллегами [4] в [1, п. 5.6.3.17, 5.6.3.18 и 5.6.3.24] были внесены изменения, направленные на установление единых правил по устройству надежной и ремонтпригодной гидроизоляции подземных сооружений, основанные на принципе необходимости укладки гидроизоляционного покрытия методом адгезионного сцепления непосредственно на внешнюю поверхность защищаемых конструкций, независимо от того, есть ли доступ к изолируемой поверхности или нет.

После введения новых правил, применение традиционных материалов адгезионного крепления и технологических схем их укладки для гидроизоляции ограждающих конструкций с отсутствием доступа к внешней поверхности остается возможным, но не нормативным техническим решением, приводящим к устройству ненадежной и ремонтпригодной гидроизоляции. В результате есть острая необходимость во внедрении в практику строительства гидроизоляционных материалов нового поколения, способных удовлетворять обновленным нормативным требованиям.

На отечественном рынке представлен ряд инновационных гидроизоляционных материалов отечественного и зарубежного производства и конструктивно-технологических систем их применения в строительстве, способных решать рассматриваемую

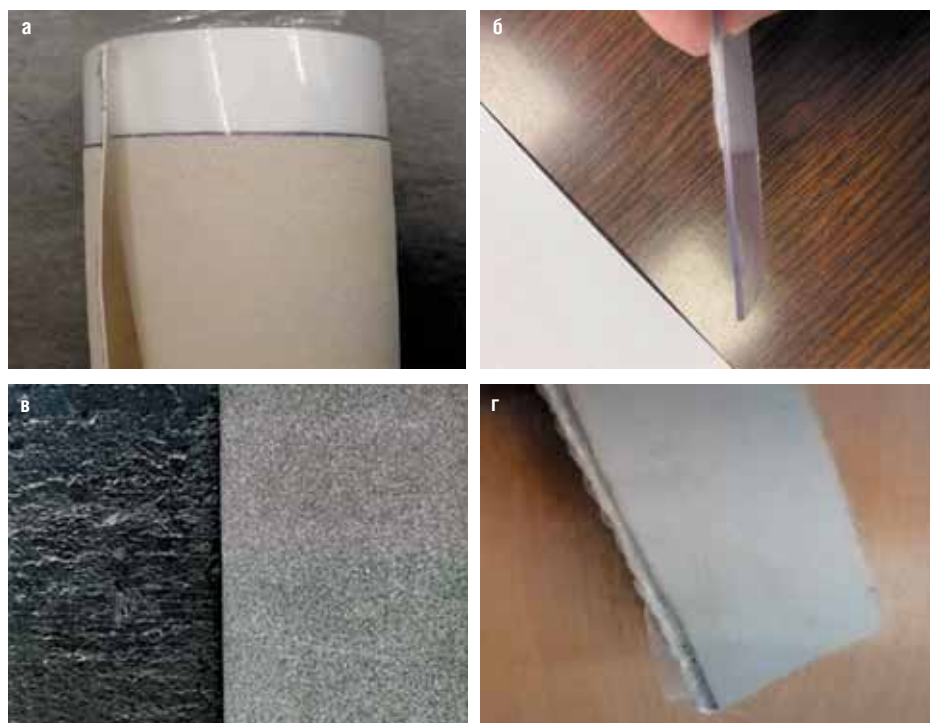


Рис. 1. Гидроизоляционные листовые материалы (мембраны) с адгезией к свежеуложенному бетону: а – гидроизоляционный трехслойный рулон заводского изготовления с самоклеящимися кромками, с поверхностным адгезионным слоем, в том числе с песчаной посыпкой; б – двухслойный рулон на основе ПВХ-мембраны с вживленным поверхностным слоем из фиброматериала FiberTex; в – рулон на основе битумно-полимерного композита (лицевая сторона с песчаной посыпкой справа); г – бесшовное двухслойное гидроизоляционное покрытие, изготавливаемое в построечных условиях нанесением поверхностного адгезионного слоя из напыляемых составов с двусторонней адгезией на геотекстильную армирующую подложку (основу) с наружным ПЭ-покрытием

ую проблему. Отличительной чертой этих материалов является их способность в виде предустановленных гидроизоляционных покрытий проявлять сплошное адгезионное сцепление к свежеуложенному бетону защищаемых конструкций подземных сооружений с отсутствием доступа к внешней поверхности, т. е. лотковой плиты, стеновых конструкций, сооружаемых без пазух для обратной засыпки грунта, и прижимной стенки для несущей «стены в грунте» (рис. 1).

К числу этих материалов и систем относятся следующие.

1. Оригинальная гидроизоляционная строительная многослойная система для подземных сооружений транспортного назначения [4, 5, 6] на основе применения инновационного гидроизоляционного композитного материала, разработанного авторами, путем сочетания технических свойств двух исходных материалов, в качестве которых были подобраны:

- напыляемые гидроизоляционные полимерные составы с «двухсторонней» адгезией, в частности, на основе этиленвинилацетатного полимера (ЕВА) и битумно-полимерного композита, обеспечивающие нормативную адгезию ($\geq 0,5$ МПа по [1]) не только с основанием из «старого бетона», покрытого слоем напыляемого полимера, но и с внешней недоступной поверхностью бетона, уложенного в виде строительного раствора на готовое гидроизоляционное покрытие.

Способность долговечной адгезии битумно-полимерных гидроизоляционных систем к бетону подтверждается традиционно-стью их применения в строительстве, а ЕВА полимера – многолетним опытом применения при сооружении многослойных монолитных транспортных тоннелей закрытого способа работ [7];

- геотекстильный нетканый иглопробивной материал плотностью 250–500 г/м² [8], используемый в качестве армирующего и усиливающего элемента полимерного покрытия, а также подстилающего полотна основы для изготовления в строительных условиях двухслойного бесшовного гидроизоляционного покрытия (полимерной мембраны с основой) напылением слоя гидроизоляционного состава толщиной 4–6 мм на готовое геотекстильное подстилающее полотно.

Применение напыляемого состава с двусторонней адгезией и его модификации в виде двухслойной полимерной бесшовной мембраны с армирующей основой, а также возможность направленного регулирования физико-механических свойств гидроизоляционного покрытия армирующим полотном в зависимости от решаемой задачи обеспечивают:

- использование гидроизоляционного покрытия без защитного слоя из мелкозернистого бетона при вязке арматурного каркаса и последующего бетонирования лотковой плиты посредством упрочнения (уплотнения)



Рис. 2. Вязка арматурного каркаса над напыляемым гидроизоляционным покрытием с двусторонней адгезией с упрочненным поверхностным слоем из геотекстильного полотна и без защитного слоя из мелкозернистого бетона

поверхностного слоя покрытия армирующим геотекстильным полотном (рис. 2). При этом ускоряется процесс гидроизоляционных работ, снижается их стоимость и обеспечивается сплошное адгезионное сцепление гидроизоляционного покрытия с недоступной внешней поверхностью лотковой плиты;

- адгезионное сцепление напыляемого полимерного слоя двухслойной мембраны

с недоступной внешней поверхностью стен сооружений, возводимых без пазух для обратной засыпки грунта, а также сохранность такого покрытия на поверхности стены при осадке подземного сооружения вследствие свободного подвешивания двухслойного полотна на «стене в грунте» с обращением гидроизоляционного слоя полотна в сторону возводимой стены, а

прочного армирующего геотекстильного основания со скользящей поверхностью – в сторону «стены в грунте» (рис. 3);

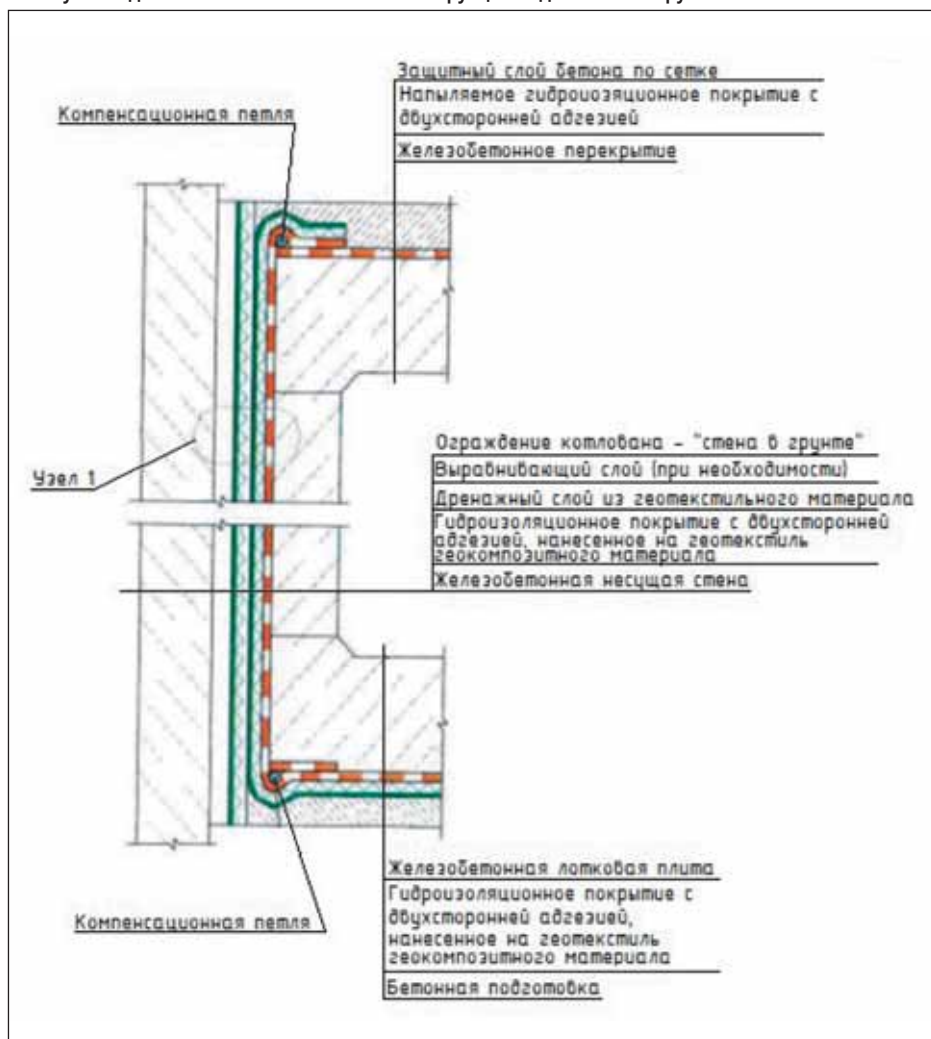
- устройство надежной водонепроницаемой трехслойной стеновой конструкции типа «сэндвич» нанесением на выровненную поверхность несущей «стены в грунте» гидроизоляционного слоя из напыляемой гидроизоляции с двусторонней адгезией и последующего возведения «прижимной» стенки из монолитного или набрызг-бетона при строительстве подземных сооружений по технологии «стена в грунте» методом «сверху вниз», и наоборот (рис. 4);

- надежность гидроизоляции, безопасность защищаемых подземных сооружений и их ремонтпригодность вследствие:

- а) адгезионного закрепления бесшовного гидроизоляционного покрытия непосредственно на внешних поверхностях защищаемых конструкции сооружений с доступом и без доступа к внешней поверхности, в соответствии требованиям [1] с Изменениями № 1–4 и [3, п. 7.1.2];

- б) локального характера водопроявлений, обусловленного сплошным адгезионным сцеплением гидроизоляции с бетонным основанием. В указанных условиях проникновение грунтовых вод в подземное сооружение возможно при совпадении местоположения сквозного повреждения гидроизоляционного покрытия или технологического шва и фильтрующего дефекта ограждающей конструкции. Низкая вероятность такого совпадения повышает эксплуатационную надежность и безопасность подземных сооружений. Однако в случае подобного совпадения локализация грунтовой воды в границах повреждения покрытия и ее миграция через фильтрующий дефект бетона упрощают установление места для выполнения локальной и относительно малозатратной работы по восстановлению водонепроницаемости конструкции инъектированием уплотнительного состава в фильтрующий дефект бетона.

Рис. 3. Гидроизоляция двухслойным гидроизоляционным покрытием с адгезией к свежесуложенному бетону возводимой монолитной стеновой конструкции подземного сооружения



Технические характеристики материалов и конструктивно-технологические решения по устройству разработанной гидроизоляционной системы в условиях строительства были одобрены в ходе стендовых испытаний и рекомендованы для опытного применения на объектах Московского метрополитена межведомственной комиссией в составе представителей ДСМ ГУП «Московский метрополитен», АО «Мосинжпроект», ОАО «Моспромпроект», ОАО «Ленметрогипротранс», ОАО «Мосметрострой», ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации».

2. Ряд российских компаний являются поставщиками гидроизоляционных полимерных рулонных мембран зарубежных производителей, обеспечивающих адгезионное сцепление с недоступной внешней поверхностью защищаемых конструкций подземных сооружений [9].

Материалы представляют собой рулоны из гидроизоляционного полимера толщиной от 2 до 4,5 мм в зависимости от исходного сырья (полиэтилен, поливинилхлорид или битумно-полимерный композит соответственно) со специальным тонким и упрочненным поверхностным слоем, обеспечивающим:

- адгезионное сцепление ($\geq 0,5$ МПа) гидроизоляционного покрытия с поверхностью свежесушеного бетона защищаемых железобетонных конструкций, возводимых без доступа к внешней поверхности;
- отказ от устройства защитного слоя гидроизоляции из мелкозернистого бетона и выполнение работ по вязке армирующего каркаса с последующим бетонированием лотковой плиты сразу после укладки гидроизоляционного полотна.

Гидроизоляционное покрытие из этих материалов производят посредством укладки рулонов внахлест один на другой 10–15 см и их герметизацией с образованием технологических швов.

Заводская готовность гарантирует неизменность качественных характеристик мембран, значительно сокращает время гидроизоляционных и общестроительных работ, а также снижает трудовые и материально-финансовые затраты при их выполнении, но наличие технологических швов требует качественного их выполнения для обеспечения эксплуатационной надежности гидроизоляционного покрытия.

Все предусматриваемые к применению материалы сертифицированы, удовлетворяют требованиям СП 120.13330.2012 и имеют протоколы испытаний образцов бетонного основания с гидроизоляционным покрытием на сопротивление к боковой миграции воды, подтверждающие надежность и водонепроницаемость адгезионного контактного слоя при гидростатическом давлении $\geq 0,5$ МПа.

Правила проектирования и производства гидроизоляционных работ с применением рассмотренных гидроизоляционных систем нового поколения для подземных сооруже-

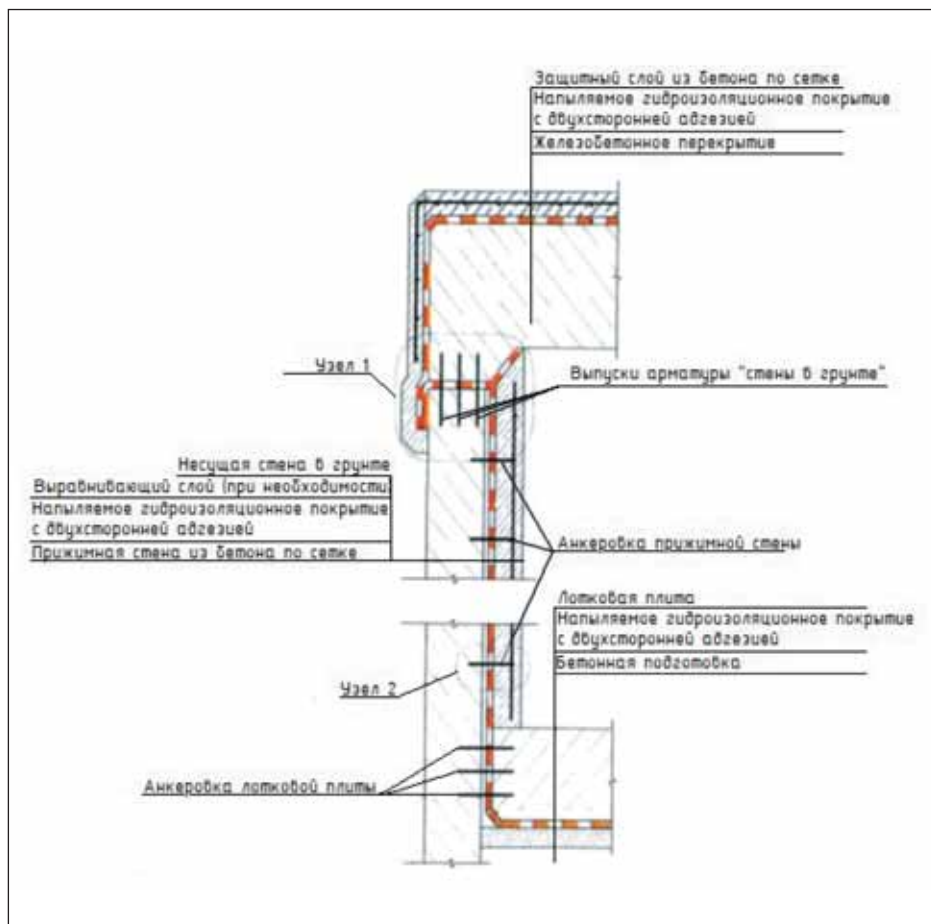


Рис. 4. Гидроизоляция напыляемым полимерным составом с двусторонней адгезией несущей стеновой конструкции подземных сооружений из «стены в грунте»

ний открытого и полужакрытого способа работ транспортного назначения приводятся в СТО 75-03 АО «Мосинжпроект» [10].

Список литературы

1. СП.120.13330.2012 Метрополитены (с Изменениями № 1–4). Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003.
2. СП.122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автомобильные (с Изменением № 1). Актуализированная редакция СНиП 32-04-97.
3. СТО НОСТРОЙ 2.27.123-2013 Гидроизоляция транспортных тоннелей и метрополитенов, сооружаемых открытым способом. Правила проектирования, производства и приемки работ.
4. Патент RU162638U1 16.12.2015.
5. Патент RU164721U1 14.01.2016.
6. В. Е. Меркин, д. т. н., проф., ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации», Т. Е. Кобидзе, к. т. н., НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект», Г. В. Потанов, к. м. н., ДСМ г. Москвы. Эффективные конструкции на основе композитов для гидроизоляции подземных сооружений транспортного назначения, возводимых открытым способом, журнал «Метро и тоннели» № 3–4, 2017 г.
7. Исследование мембран на EVA основе для гидроизоляции железнодорожных и автомобильных тоннелей в скальных породах и холодном климате. Карл Гуннар Холтер. Кандидатская диссертация

2015/197. Кафедра геологии и разработки минеральных ресурсов Норвежского университета науки и техники. (Предоставляется по запросу в отделе подземного строительства ООО «МБС Строительные системы»).

8. ГОСТ Р 53225 – 2008 Материалы геотекстильные.
9. Т. Е. Кобидзе, к. т. н., АО «Мосинжпроект», Д. С. Конюхов, к. т. н., АО «Мосинжпроект». Причины обводнения конструкций тоннельных сооружений и инновационные «предусматриваемые» гидроизоляционные системы для его устранения, журнал «Метро и тоннели» № 1, 2021 г.
10. СТО 75-03 АО «Мосинжпроект». Гидроизоляция (Предоставляется по запросу в отделе научно-технического сопровождения строительства АО «Мосинжпроект»).

Ключевые слова

Адгезия к свежесушеному бетону, геотекстильная армирующая основа, двусторонняя адгезия, напыляемая гидроизоляция, правила проектирования, «стена в грунте».

Для связи с авторами

Конюхов Дмитрий Сергеевич
gidrotehnik@inbox.ru
Кобидзе Тенгиз Евгеньевич
Koba1948@mail.ru

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННОГО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОЗВЕДЕНИЯ ЛЕДОГРУНТОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ

К. А. Дорохин, О. В. Бойко, А. М. Сухарев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Искусственное замораживание грунтов часто применяется в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях строительства метрополитенов. В связи с тем, что работы по замораживанию грунтов являются скрытыми, необходим контроль сплошности возводимого ледогрунтового ограждения. Такой контроль традиционно осуществляется с помощью скважинной термометрии и гидрогеологических наблюдений. В статье рассмотрены возможности сейсмоакустического метода в варианте межскважинной томографии для контроля сплошности ледогрунтового ограждения.

Современное развитие мегаполисов неминусом связано с освоением подземного пространства для устройства транспортных коммуникаций, подземных паркингов, торговых зон и прочих объектов городской инфраструктуры. При реализации проектов, связанных с подземным строительством, всегда возрастает риск возникновения аварийных ситуаций, обусловленных как геологическими, так и антропогенными факторами.

Возможность снижения риска возникновения аварий при строительстве подземных сооружений появляется только при условии своевременного выявления неблагоприятных инженерно-геологических условий и процессов, принятия и рационального применения эффективных проектных решений [1, 2].

Сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительства метрополитенов требуют применения специальных способов производства работ, в частности, искусственного замораживания грунтов. Этот способ, как наиболее эффективный и надежный, получил широкое распространение в метростроении.

Подземное строительство в условиях сильно водонасыщенных грунтов и плывунов существенно осложнено и зачастую начинается только после мероприятий по искусственному замораживанию грунтов, которое, в свою очередь, производится с целью создания водонепроницаемых и несущих ледогрунтовых ограждений (массивов). Данные мероприятия практически не имеют конкуренции при строительстве шахтных стволов и наклонных ходов метро [3].

В настоящее время при подземном строительстве распространены два способа искусственного замораживания грунтов, которые можно разделить на рассольный и безрассольный.

Рассольное замораживание грунтов, а в рамках данной статьи речь пойдет именно об этом способе, реализуется путем бурения скважин по контуру будущего ограждения, устройством в скважинах замораживающих

колонок, монтажом на площадке прямого и обратного коллекторов и холодильного оборудования, циркулирующей в замораживающих колонках холодоносителя с температурой до -25°C до образования сплошного замкнутого ледогрунтового контура.

Только после обеспечения сплошности созданного ледогрунтового ограждения на проектную глубину, что в конечном итоге обеспечивает возможность проходки горной выработки без повышенного водопритока, могут быть начаты горнопроходческие работы.

При этом создание ледогрунтового ограждения и поддержание его в работоспособном состоянии во время проходки является непростой задачей из-за сложности технологического процесса и существования факторов, влияющих на замораживание грунтов. Основными неблагоприятными факторами для формирования ледогрунтового ограждения являются: расхождение трасс замораживающих скважин, движение грунтовых вод, недостаточная холодопроизводительность холодильного оборудования, а также человеческий фактор.

В связи с этим мероприятия по замораживанию грунтового массива необходимо проводить под инструментальным контролем эффективности, который согласно ВСН 189-78 «Инструкция по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей» выполняется путем гидрогеологических и термометрических наблюдений, которые осуществляются в специально оборудованных скважинах в зоне замораживаемых грунтов. При этом рекомендуемые нормативным документом способы контроля не дают полной картины замкнутости созданного ледогрунтового ограждения и не позволяют выделить локальные области, в которых сплошность еще не сформировалась. Между тем данную задачу можно эффективно и оперативно выполнить с помощью скважинных сейсмоакустических исследований.

Исследованиями в области контроля процессов замораживания, в том числе с

помощью сейсмоакустических и ультразвуковых методов занимались такие ученые и исследователи как П. М. Тютюник, А. М. Солодов, Н. Г. Трупаков, С. С. Вялов, Х. Р. Хакимов, А. Г. Архипов и другие [4–9]. При этом, несмотря на ценный опыт, полученный авторами, сейсмические исследования не проводились в варианте сейсмической томографии, применение которой существенно повышает разрешающую способность метода, что важно для выделения локальных участков небольших размеров, как в плане, так и по глубине.

Метод межскважинного сейсмоакустического просвечивания (МСП) с применением томографической обработки в области подземного строительства все чаще применяется многими организациями, осуществляющими работы от инженерно-геологических изысканий до геотехнического мониторинга и научного сопровождения. Связано это в первую очередь с существенным скачком в области аппаратных и программных возможностей, которые появились в последнее десятилетие. Результаты множества эффективно решаемых задач методом межскважинной томографии (межскважинные сейсмоакустические просвечивания, МСП) довольно подробно изложены в ряде работ различных организаций и отдельных исследователей [10–16].

Обоснование применимости метода сейсмоакустических исследований

Преимущество применения сейсмических методов для решения данной задачи объясняется, прежде всего, экономической эффективностью, мобильностью, скоростью выполнения, а главное, наличием высоких корреляционных связей между скоростью распространения сейсмических волн и перехода грунтов в мерзлое состояние.

Главной физической предпосылкой использования сейсмических методов для контроля формирования ледогрунтового ограждения является заметная разница в значениях скоростей распространения сейсмических колебаний в грунтах, находящихся в ес-

тественных условиях, и грунтах, находящихся при отрицательных температурах [17, 18].

В табл. 1 приведены примеры значений скоростей упругих волн в некоторых породах в естественных условиях и в мерзлом состоянии.

Исходя из данных таблицы, можно отметить, что скорость сейсмических волн в замороженных грунтах существенно выше, чем в незамерзших. Таким образом, оценку сплошности формирования ледогрунтового ограждения, в первом приближении, можно сделать по изменению скоростных характеристик. При этом области, в которых по каким-либо причинам грунт оказался не проморожен, будут выделяться пониженным или нулевым приростом скорости.

Методика проведения исследований и аппаратура

Задача по оценке сплошности ледогрунтового ограждения с учетом необходимой глубинности и детальности прогноза успешно решается с помощью скважинных сейсмоакустических исследований в варианте межскважинного сейсмоакустического просвечивания (МСП), которые эффективно применяются для оценки структурных и физико-механических характеристик исследуемой среды. Данный метод также имеет высокую эффективность при исследованиях грунтоцементных массивов, различных инженерных сооружений (типа «стена в грунте», «геотехнический барьер» и пр.), а также при мониторинговых режимных наблюдениях грунтового массива для оценки качества инъекционных и компенсационных работ, направленных на увеличение его прочностных характеристик [10–16].

Стоит отметить, что скважинные исследования (рис. 1 и 2) имеют ряд преимуществ перед поверхностными методами:

- нет ограничений по глубине наблюдений (глубина исследований определяется глубиной скважин), что позволяет производить исследования на большие глубины даже

Скорости упругих волн в некоторых породах верхней части разреза
(по данным Н. Н. Горяинова и Ф. М. Ляховицкого, 1979 г.) [17]

Породы	Состояние породы	Скорость продольной волны (V_p , м/с)
Обломочно-песчаные:		
галечники	неводонасыщенное	400–800
	водонасыщенное	2000–2700
	мерзлое ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	3800–4800
пески	неводонасыщенное	200–500
	водонасыщенное	1500–2000
	мерзлое ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	3400–4000
Глинистые:		
супеси	неводонасыщенное	250–550
	водонасыщенное	1450–1800
	мерзлое ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	2800–3500
суглинки	неводонасыщенное	300–600
	водонасыщенное	1500–1900
	мерзлое ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	2200–2800
глины	неводонасыщенное	400–1800
	водонасыщенное	1800–2500
	мерзлое ($-3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1900–2300

в стесненных городских условиях на полную глубину производства замораживания;

- высокая разрешающая способность наблюдений в связи с приближением источников и приемников к среде исследования на всей её протяженности и с отсутствием необходимости регистрации волн через неоднородный поглощающий поверхностный слой [11, 12].

Контрольные исследования для оценки сплошности ледогрунтового ограждения производятся после завершения активной фазы замораживания с использованием замораживающих скважин, наполненных рассолом. В данные скважины для измерений методом МСП опускаются скважинные зонды.

Для производства МСП выбираются скважины с приблизительно равным интервалом (4–5 м) (рис. 3).

Каждая пара скважин при производстве МСП образует исследуемое томографическое сечение на всю глубину изучаемой среды.

При производстве исследований методом МСП для каждой пары скважин в одну рассолонаполненную скважину опускается приемная коса (в нашем случае это гидрофонная 12-канальная коса), а в другую – погружается электроискровой источник мощностью 1200 Дж.

Исследования производятся в следующей последовательности: для каждого положения приемной косы источник перемещается

Рис. 1. Изображение приемной и излучающей скважин при производстве МСП по контуру замораживания



Рис. 2. Модель положения скважин, используемых как для заморозки, так и для контроля сплошности ледогрунтового массива

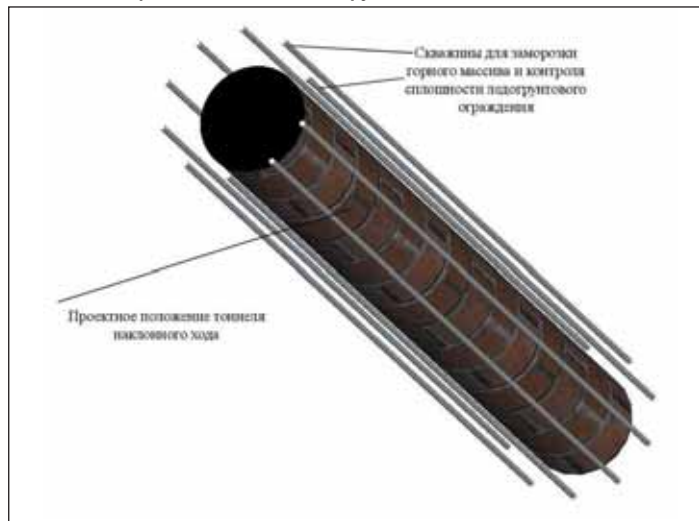




Рис. 3. Принципиальная схема производства МСП и скважинные зонды

вдоль соседней скважины параллельно приемной скважине с выносами равными половине расстановки, после чего приемная коса смещается на следующее положение и процесс повторяется.

Геофизический контроль производится в два этапа. Первый – до начала активной фазы замораживания для идентификации структуры исследуемой среды и оценки её кинематических характеристик в естественном состоянии. Второй этап – после завершения активной фазы замораживания для оценки эффективности замораживающих мероприятий и выделения областей, в которых сплошность ледогрунтового ограждения не обеспечена.

Результаты, полученные на объекте строительства наклонного хода с превентивными мероприятиями по замораживанию грунтового массива

Ниже представлены результаты, полученные на реальном объекте при возведении ледогрунтового ограждения при строительстве наклонного хода станции метрополитена в Санкт-Петербурге.

Геологические условия ведения строительства наклонного хода показаны на рис. 4.

Грунты по разрезу представлены насыпными грунтами, супесями, суглинками с включениями графия и гальки и глинами различной консистенции, на разрезе встречается слой песчаников кварцевых от низкой до средней прочности, водонасыщенные.

Для оценки сплошности ледогрунтового ограждения были проведены скважинные исследования по методике МСП после завершения активной фазы замораживания. Скважины для производства контрольных измерений выбирались согласно схеме рис. 5.

В результате исследований были построены сейсмотомографические разрезы (рис. 6), представляющие состояние сформированного ледогрунтового ограждения вокруг проектного положения наклонного хода.

На изображении представлены две развертки по окружности ледогрунтового ограждения. На томографических разрезах отмечается достаточно равномерное распределение повышенных скоростных характеристик, указывающих на мерзлое состояние

вмещающих грунтов. При этом выделяются и локальные низкоскоростные области, в которых сплошность ледогрунтового ограждения на момент завершения активной фазы замораживания не обеспечена. Низкоскоростные области приурочены к прослоям водонасыщенных песчаников и слою дислоцированных глин с прослоями песчанника.

По результатам исследований заказчику был передан акт с положением выявленных аномальных зон и рекомендации по продолжению активной фазы замораживания для их устранения.

Выводы

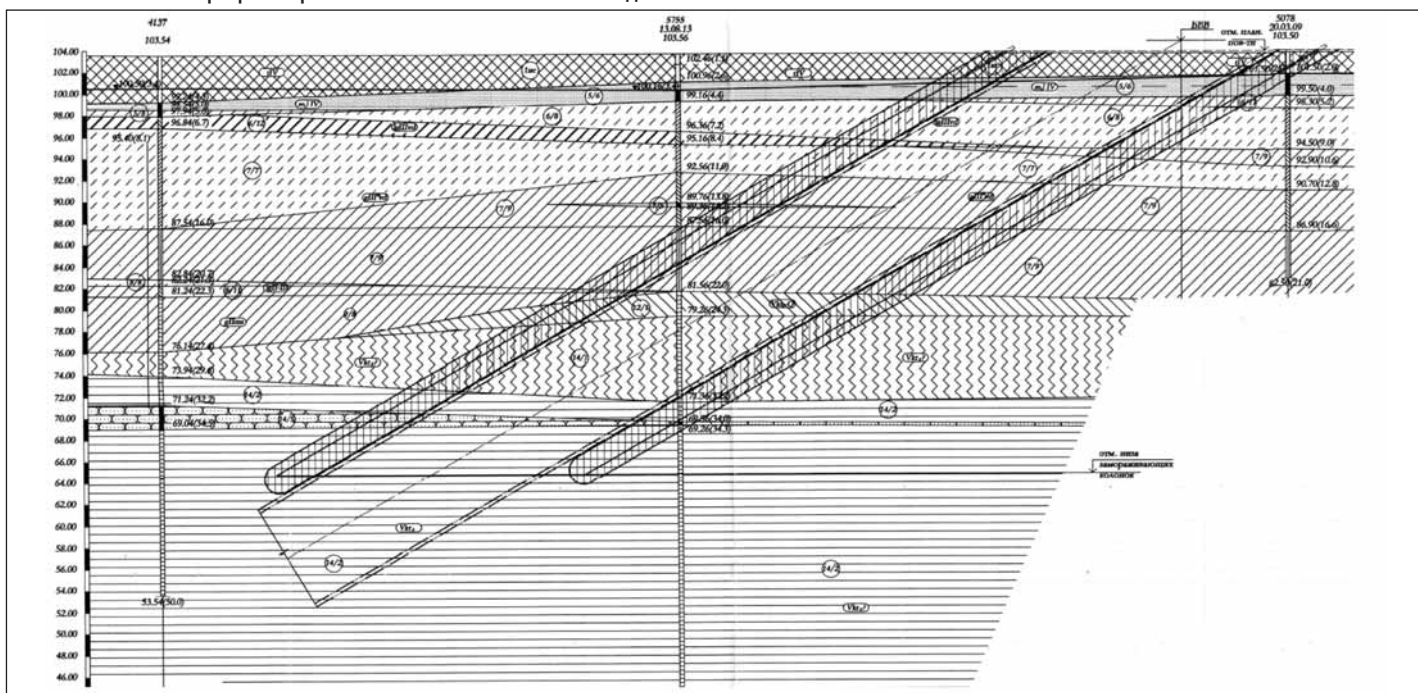
С помощью метода межскважинной сейсмической томографии эффективно оценивается сплошность создаваемого ледогрунтового ограждения, выделяются участки, в которых процесс замораживания оказался недостаточным, и необходимо дополнительное замораживание для обеспечения сплошности возводимого ограждения. При необходимости могут быть рассчитаны основные физико-механические характеристики ледогрунтовой среды.

Параметры, полученные методом межскважинной сейсмоакустической томографии, необходимы также для уточнения технологического режима по замораживанию грунтов.

К основным преимуществам метода межскважинной сейсмической томографии для решения задачи по оценке сплошности ледогрунтового ограждения можно отнести, прежде всего:

- высокую разрешающую способность исследований;
- возможность наблюдений практически на любые глубины даже в стесненных городских условиях (определяется глубиной скважин);

Рис. 4. Геологический разрез и проектное положение наклонного хода



• возможность исследований в массиве прямо под основаниями зданий.

Ключевые слова

Ледогрунтовое ограждение, межскважинная томография, контроль сплошности.

Список литературы

1. Улицкий В. М., Шапкин А. Г., Шапкин К. Г. Геотехническое сопровождение развития городов. Практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки. «Стройиздат Северо-Запад» Изд-во «Группа компаний «Георекострукция», 2010 г. – С. 547.
2. Петрухин В. П. Геотехнические проблемы строительства в Москве – крупнейшем мегаполисе России. – Геотехнические проблемы мегаполисов. СПб: Изд-во «Группа компаний Георекострукция», 2010. Т. 1., – С. 259.
3. Безродный К. П., Лебедев М. О. Реализация новых конструкций и технологий при строительстве Петербургского метрополитена. Сборник статей «Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения» М.: «Перо» 2021. с. 38–45.
4. Тютюник П. М. Геоакустический контроль процессов замораживания и тампонирувания пород. – М.: Недра, 1994.
5. Тютюник П. М., Солодов А. М. Методические указания по лабораторно-практическим занятиям по разделу «Контроль процессов замораживания пород в подземном строительстве» Ч. II. – М.: МГИ, 1991.
6. Трупаков Н. Г. Замораживание грунтов в подземном строительстве. М.: Недра; 1974. – С. 280.
7. Вялов С. С. Реологические свойства и несущая способность мерзлых грунтов. М.: АН СССР; 1959. – С. 192.
8. Хакимов Х. Р. Вопросы теории и практики искусственного замораживания грунтов. – Изд-во Академии наук СССР, 1957. – С. 191.
9. Архипов А. Г. «Сейсмоакустическая диагностика состояния массивов естественных и искусственных грунтов» – «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в России» Изд-во: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015, с. 162–166.
10. Болгаров А. Г., Рослов Ю. В. Межскважинная сейсмическая томография для решения инженерно-геологических задач. Технологии сейсморазведки. № 1. 2009. с. 105–111.
11. Шишкина М. А., Фокин И. В., Тихоцкий С. А. Разрешающая способность межскважинной лучевой сейсмической томографии: расстановка, скоростная модель, конечная частота сигнала. Информационный портал института ИФЗ РАН. URL: <http://www.ifz.ru/lab-202/inverse-problems/tomo-resolution/>.
12. Шишкина М. А., Фокин И. В., Тихоцкий С. А. К вопросу о разрешающей способности межскважинной лучевой томографии. Журнал: «Технологии сейсморазведки» № 1, 2015. с. 5–21.

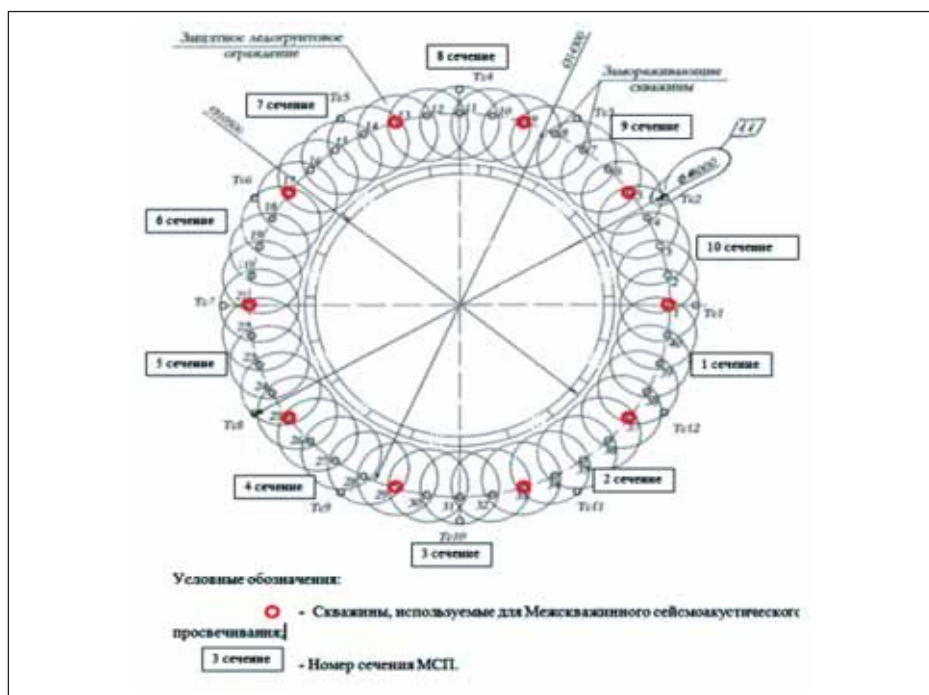


Рис. 5. Положение контрольных скважин для производства МСП для оценки сплошности ледогрунтового ограждения

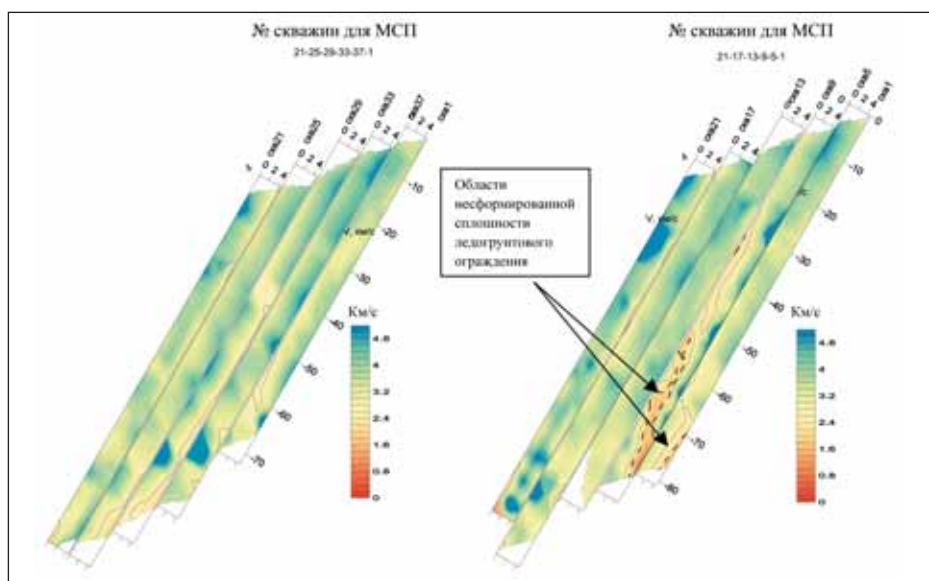


Рис. 6. Результаты исследований, выполненных после регламентного срока активной фазы замораживания

13. Исаев Ю. С., Дорохин К. А., Бойко О. В. Опыт применения сейсмоакустической томографии для оценки сплошности ограждающих конструкций типа «стена в грунте» Сборник статей «Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения» М.: «Перо» 2021. с. 97–105.
14. Hamid N. Alsadi Seismic Hydrocarbon Exploration: 2D and 3D Techniques. Advanced in Oil and Gas Exploration and Production. Springer International Publishing Switzerland. 2017. p. 325.
15. Dobroka, M. and Szegedi, H. On the Generalization of Seismic Tomography Algorithms, American Journal of Computational Mathematics, 2014, Vol. 4 No. 1, pp. 37–46.

16. Kubota K., Kibo K., Mizobata S., Murakami F. Development of directional drilling system and measurement method in the borehole application of seismic tomography between surface and the borehole/10th Asian Regional Conference of IAEG.2015 URL: http://www.jsseg.or.jp/2015ARC/data/TP4/TP4-P05_1080009_1510841.pdf.
17. Горяинов Н. Н., Ляховицкий Ф. М. Сейсмические методы в инженерной геологии. – М.: Недра, 1979. – С. 143.
18. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики под редакцией Богословского В. А. издательство «Недра» Москва 1990 г. – С. 502.

Для связи с авторами

Дорохин Кирилл Александрович
d.k_a@mail.ru

НОВЫЙ ЭТАП РЕФОРМЫ РОССИЙСКОГО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Б. А. Картозия, А. В. Корчак, А. Н. Панкратенко, В. И. Смирнов, М. Н. Шуплик, д-ра техн. наук, профессора, НИТУ «МИСиС» Горный институт



В порядке обсуждения перспектив предстоящей реформы Российского высшего образования, ученые кафедры строительства подземных сооружений и горных предприятий Горного института НИТУ «МИСиС» делятся опытом организации и результатами её предыдущего этапа, а также излагают свое видение новой отечественной модели обучения студентов горностроительного профиля. Реформирование образования – процесс неизбежный, вызванный политическими, экономическими и социальными условиями внутригосударственной жизни. Его сущность состоит в изменении идеологии (концепции) и обновлении технологий обучения. Работникам образовательной сферы к этому давно следует привыкнуть и быть готовыми к переменам, связанным с оптимизацией высших учебных заведений, номенклатуры специальностей, необходимостью повышения собственной квалификации и даже к овладению новыми, более востребованными профессиями. Авторы статьи надеются, что члены Тоннельной ассоциации России примут деятельное участие в обсуждении этого актуального государственного вопроса.

Главная цель предыдущего этапа реформы заключалась в стремлении наделить россиян равным с гражданами Европы образовательным статусом. Наше понимание сущности подобного обучения состоит в том, чтобы обеспечить подготовку выпускника с учетом требований отечественного и международного рынка труда к уровню их профессионализма независимо от того, где они получают образование. То есть, каким образом будет достигаться получение необходимых знаний и умений в вузах России, США, Китая, Германии, Англии или Франции – не столь важно, каждая высшая школа вольна в использовании своего положительного опыта и национальных традиций. Главное, чтобы независимо от технологий, по которым ведется подготовка, у выпускника были выработаны профессиональное умение и способность в конкретных ситуациях принимать единственно правильное (близкое к нему) решение: практически доступное, жизненно безопасное и экономически оправданное [2]. Одним из возможных путей

достижения этой цели является выработка свода единых унифицированных межгосударственных требований. Подобным документом явилась Болонская декларация. В последние два десятилетия, отойдя от традиционной «советской образовательной системы», наша страна приняла в качестве основной «западную (Болонскую) модель», получившую в России наименование «двухуровневая система подготовки».

Болонский процесс (англ. Bologna Process), Болонская Декларация – соглашение между европейскими странами, направленное на обеспечение сопоставимости стандартов и качества квалификаций высшего образования. Официальной датой начала процесса принято считать 19 июня 1999 г. На начало 2022 г. в нем участвовали 49 государств. Россия присоединилась к Болонскому процессу в сентябре 2003 г. Реформа системы образования, проводившаяся в России в рамках «Болонского процесса», была обоснована новой российской образовательной доктриной: «через создание едино-

го образовательного пространства дать российским гражданам равный статус с гражданами европейских государств и таким образом открыть россиянам выход на европейский, а впоследствии – на мировой рынок квалифицированного труда».

Реформа в России состоялась, однако в апреле 2022 г., в соответствии с западными санкциями, наша страна была исключена из Болонского процесса. В результате Российское высшее образование оказалось перед необходимостью выбора нового пути своего дальнейшего развития. В мае 2022 г. Минобрнауки РФ заявило, что отказывается от Болонской системы и будет разрабатывать собственную модель высшего образования. В ее основу будут заложены, прежде всего, интересы экономики страны и максимальные возможности для студентов. Болонский документ определяет идеологию, принципы и положения организационного характера, обязательные для исполнения всеми его участниками. Одним из таких требований является двухуровневая структура, ко-

торой соответствуют квалификации выпускников бакалавр и магистр. Руководитель Минобрнауки министр Валерий Фальков пояснил, что грядущая реформа вовсе не означает отмены этих квалификаций, но теперь работодатели и университеты сами смогут отказаться от них в пользу «нашего исторического» специалитета.

Следует напомнить, что еще в начальный период отечественный эксперимент по переводу образования на новую концепцию выявил ряд моментов, заставивших серьезно задуматься: а так ли очевиден выбранный путь, гарантирующий «равный с гражданами зарубежных государств образовательный статус?» [1]. В этой связи авторам статьи небезынтересно мнение кандидата исторических наук, доцента кафедры истории и политики стран Европы и Америки МГИМО О. Н. Четвериковой (<http://ss69100.livejournal.com/2553726.html>).

«Американская система высшего образования серьёзно отличается от нашей системы образования, и большей частью американские университеты – это частные структуры, частные корпорации, которые управляются своими советами, попечительскими советами, куда входят богатые выпускники этих университетов... Это у нас образование воспринимается как одно из направлений социальной политики, у американцев нет. Сегодня мы видим, что в процессе образования можно тотально перестраивать сознание людей, молодёжи, и фактически заново формировать сознание детей дошкольного возраста. То, что заложено в два-три года, потом и останется как матрица. То есть, первая задача (у Запада (примечание авторов)) – это интеграция нас в глобально-образовательное пространство. Эта задача должна работать на транснациональный бизнес, а не на Россию, а вторая – это перевод людей на совершенно другую систему ценностей, перестройка или формирование мировоззрения».

Эту мысль, в частности, иллюстрируют внедренные у нас критерии нового подхода к оценке деятельности научных работников и вузов. Они были разработаны зарубежными учеными, занимающимися фундаментальными научными исследованиями и основаны на объеме публикаций в рейтинговых печатных изданиях. Результаты исследований в области физики, химии, биологии, генетики, математики, экономики для самой науки могут иметь мировое значение, однако немедленного практического эффекта, как правило, не дают. Их еще необходимо адаптировать к конкретным областям человеческой деятельности. Поэтому для тех, кто занимается прикладными исследованиями, они малопригодны, так как характеризуют, прежде всего, личную значимость ученого, а не государственную практическую полезность его исследований, которая для прикладных наук в России традиционно имеет первостепенное значение. В нашем отечестве оценка деятельности ученых исторически

давалась государством: звания, ордена, медали, государственные, правительственные и академические премии, всеобщий почет и уважение. Однако зарубежные оценочные показатели научной деятельности были включены в перечень оценок учебных заведений как одни из важнейших. Думается, что к использованию новых критериев оценки следует подходить с пониманием, но выборочно, применяя их там, где они действительно необходимы и уместны.

Если сегодня перечислить основные факторы, способствовавшие сравнительно беспрепятственному внедрению новой для России системы, они сведутся к трем:

- стремление к получению выпускниками вузов равноправного международного статуса и, следовательно, партнерства на рынке труда;
- активная финансовая поддержка продвижения этой системы в российское образование со стороны западных стран: основную роль, как известно, сыграли программы совместной деятельности с Фондом Карнеги, Всемирным банком, Фондом Сороса и др. [«Российское образование в планах Запада». <http://pandoraopen.ru/2016-07-07/rossijskoe-obrazovanie-v-planax-zapada/>];
- недостаточная на тот период способность отечественной системы высшего образования без серьезных преобразований в новых экономических условиях обеспечить качественный скачок в экономике и промышленности.

Прошло время, резко изменились геополитические условия, а вместе с ними и официальная риторика. В недавнем интервью председателя «Временной Комиссии Совета Федерации по защите государственного суверенитета и предотвращению вмешательства во внутренние дела» сенатора А. А. Климова российскому сетевому изданию NEWS прозвучали жесткие оценки на тему «как некоторые работники вузов трактуют этот вопрос». В частности, он привел в качестве примера преподавателей, которые мотивируют студентов хорошо учиться, настойчиво овладевать знаниями, чтобы с успехом трудоустроиться где-то за рубежом: «Что вам тут сидеть?»

Напрашивается вопрос: должно ли стремление выпускника к выходу на международный рынок труда (на фоне нынешних событий) оцениваться как непатриотичное поведение? В этом случае возникает нестыковка с основной образовательной доктриной, основанной на «равноправном статусе отечественного образования на международном рынке труда». Согласитесь, мы сегодня на собственном опыте убедились в том, как этот «международный рынок квалифицированного труда» относится к России.

Подобная ситуация наводит на мысли о необходимости корректировки действующей доктрины и переходе к новому этапу образовательной реформы, с учетом накопленного опыта за прошедшие годы. И если этому суждено случиться, то процесс затронет все уровни образования, от дошкольного до послевузовского.

Реализация предыдущего этапа новой образовательной системы в России для ведущих высших учебных заведений России, включая НИТУ «МИСиС», проходило в рамках проекта «5–100», запущенного Министерством образования и науки России в соответствии с указом Президента Владимира Путина от 7 мая 2012 г. «О мерах по реализации государственной политики в области образования и науки». По существу, это был стратегически неизбежный этап в поисках путей дальнейшего развития системы российского образования, считающейся одной из лучших в мире. В 2020 г. Счетная палата России подвела итоги выполнения программы «5–100». В сотню ведущих вузов мира, к сожалению, ни один из российских участников проекта не вошел, но, откровенно говоря, и надеяться на это было трудно. Не всё удалось за истекшие годы. Для того чтобы добиться выдающихся результатов в науке и одновременно обеспечить высокое качество подготовки выпускников по «новым правилам игры», нужны опыт и время. Кроме того, очень остро высветился кадровый вопрос, особенно в технических вузах. В подавляющем большинстве, нынешний обучающийся состав получил образование и сформировал свое мировоззрение в предшествующем столетии. Поменять свои жизненные и профессиональные устои в зрелом возрасте оказалось для многих непосильной задачей.

Однако не следует считать ситуацию с полученными итогами провальной, как это преподносят некоторые СМИ. Результаты, бесспорно, есть и это подтверждается, в частности, неуклонным продвижением российских университетов, в том числе и НИТУ «МИСиС», вверх по иерархической рейтинговой лестнице. Для вуза, сформировавшегося в условиях прежней системы высшего образования, это серьезный шаг вперед, существенное дополнение к уже накопленному опыту, возможность напрямую сопоставить достоинства и недостатки двух образовательных систем. Не следует забывать, что если на предыдущих этапах развития отечественные вузы (абсолютное большинство) практически отсутствовали в международных табелях о рангах, то именно новая модель, благодаря унификации критериев оценки, позволила многим из них впервые заявить о себе.

В публикациях [1, 2, 4] на примере Горного института НИТУ «МИСиС» нами было проанализировано, что принесла высшему горному образованию новая его модель. Думается, что к её реализации изначально следовало подходить дифференцированно. Для тех, кто принял для себя осознанное решение трудиться на поприще укрепления зарубежной экономики (свобода выбора), получение «равноправного» образования и соответствующих документов должно быть платным и реализовываться в рамках специальных структур, создаваемых при наших ведущих высших учебных заведениях. Выполняя свою миссию – реализовать кон-

ституционное право граждан России на получение желаемого качественного образования, и решая основную задачу – обеспечивать квалифицированными кадрами различные сферы экономики России, вузы могут для желающих вести на коммерческой основе подготовку по любым иным стандартам (и без таковых).

Двухуровневая система подготовки, в принципе, дает студентам возможность маневра в выборе образовательных программ по специализациям и времени обучения, что, учитывая быстро меняющуюся конъюнктуру рынка труда, делает их в большей степени социально защищенными. Наличие двойного аттестационного рубежа – защита бакалаврской работы, а затем выпускной квалификационной работы, обеспечивает более высокое качество подготовки выпускника. Заслуживает внимания использование принципов модульности дисциплин и мобильности обучения, то есть, возможности дополнительно получать необходимые каждому учащемуся знания и умения в ведущих российских и зарубежных научно-образовательных центрах в соответствии с запросами работодателей.

В целом, первый опыт внедрения двухуровневой системы позволил сделать вывод о ее жизнеспособности, однако какого-либо существенного преимущества перед традиционной для России системой образования не выявил.

Сегодня на повестке дня вопрос о создании в России новой системы высшего образования, которая, по мнению министра В. Н. Фалькова, должна стать «уникальной». С удовлетворением встречены заверения Минобрнауки, что механического возврата к доперестроечной системе не будет, этот путь признан не продуктивным. Разумеется также, что какие-либо кардинальные преобразования в спешке, без глубокого анализа опыта, накопленного российскими вузами, должны быть исключены. Кроме того, нельзя это делать в отрыве от реформирования школьного образования. В июне 2022 г. в Государственной Думе состоялись большие парламентские слушания по вопросам развития высшего образования. В дискуссии приняли участие ректоры и преподаватели ведущих российских вузов, представители студенческого сообщества, работодателей, региональных органов власти, эксперты, лидеры фракций. Общее мнение участников таково, что будущая система образования должна в максимальной степени отвечать эффективному развитию экономики и промышленности России.

Особенно много споров вызывает вопрос о целесообразности сохранения «магистратуры» в техническом образовании. В последние годы предложения авторов статьи на этот счет широко публиковались в средствах массовой информации [1–4].

Суть их состоит в следующем. Научная сфера деятельности нуждается в профессионально подготовленных ученых. По суще-

ствующему в России определению это и есть магистры.

«Магистр – это профессионал с глубокой фундаментальной и специальной системной подготовкой к научным исследованиям, который способен и призван разрабатывать новые принципы функционирования систем и изделий, предлагать и обосновывать новые физические процессы в основе проектируемых объектов, проводить тончайшее и глубокое математическое и физическое моделирование, организовывать сложные эксперименты и уметь на основе современных математических методов обработки извлечь из него максимум информации и т. д.» [1].

Поэтому в рамках магистратуры целесообразно сосредоточить подготовку учащихся особой квалификации: «ученый-исследователь и педагог высшей школы». То есть, подготовка будущих ученых должна вестись по их прямому назначению, начиная со студенческой скамьи. Для выпускников «специалитета» эту функцию выполняет аспирантура, но этого, как показывает жизнь, в наше время уже явно недостаточно. Общий научный кругозор аспиранта, как правило, сужен рамками темы его диссертации.

Историческая справка. Еще задолго до того как у нас появилась квалификация магистр, в высшем горном образовании по предложению и при непосредственном участии академика В. В. Ржевского, тогда ректора Московского горного института, была впервые сформирована новая специальность «Физические процессы горного производства», которая базировалась на основополагающем принципе нынешней «Магистратуры», органическом соединении обучения студентов с их научной деятельностью. Набор первой группы осуществлялся по желанию студентов старших курсов разных специальностей, на основании очень жестких критериев. Подготовка специалистов началась в 1962 г., и результаты превзошли все ожидания. Достаточно сказать, что из числа первых выпускников 14 защитили кандидатские диссертации и 6 – докторские. Выпускники специальности с успехом пополнили и продолжают популять научно-исследовательские организации и преподавательские коллективы профильных вузов. По существу, это был отечественный «доболонский» прототип магистратуры.

Сохранение «магистратуры» позволит, во-первых, обеспечить более высокий уровень фундаментальной подготовки выпускников, во-вторых, иностранным учащимся диплом магистра будет предпочтительнее и, наконец, это способствует определенной привлекательности (элитарности) высшего образования. Вместе с тем необходимо исправить ошибку, допущенную на предыдущем этапе реформы: квалификация «магистр» должна быть однозначно закреплена в российском трудовом законодательстве. При этом «бакалавриат» в составе магистратуры, по мнению авторов, следует рассматривать не как «не-

оконченное», а как «начальное высшее образование», т. е. мотивирующее продолжение обучения.

Традиционный «специалитет» сохранится с учетом серьезной корректировки методологии преподавания, широкого внедрения прогрессивных технических и цифровых методов обучения, в том числе мультимедийных, увеличения объема практической подготовки, учета региональных потребностей страны.

Отметим, что в НИТУ «МИСиС» уже накоплен опыт по сближению обучения магистров IT профиля и специалистов горняков на основе междисциплинарных учебных программ, одобренный руководством вуза и апробированный в условиях производства [4]. Такой подход позволяет существенно расширить возможности вовлечения магистров в технологические сферы производства, например, в городском подземном строительстве. Руководители технологическими процессами строительства – выпускники вуза с дипломом специалиста, а инженерами-проектировщиками строящихся объектов могут с успехом быть магистры информационных технологий, в наши дни это самые сложные BIM-технологии. Должности в производственной организации у тех и других инженерные, а квалификации разные. Это внесёт коррективы в укоренившийся подход к подбору кадров по принципу «базового образования».

И, наконец, уместно доработать действующую формулировку «Миссии российских вузов», которая предусматривает «реализацию конституционного права граждан на получение желаемого качественного образования», дополнив её словами: «в сочетании с достойным гражданским воспитанием». Воспитанием гражданина – патриота России.

Список литературы

1. Актуальные вопросы подготовки горных инженеров для освоения подземного пространства недр, Картозия Б. А., Корчак А. В., Панкратенко А. Н., Смирнов В. И., – М., изд. Ваш формат, 2021, – С. 70.
2. Картозия Б. А. Этапы реформирования высшего горного образования М., МГИ НИТУ МИСиС, 2017 г. – С. 39.
3. Концепция и содержание подготовки горных инженеров-строителей, Картозия Б. А., Корчак А. В., Панкратенко А. Н., Смирнов В. И., Шупик М. Н., М., изд. Ваш формат, 2021, – С. 32.
4. О необходимости и возможности разработки междисциплинарной магистерской образовательной программы для подземного строительства. Доклад на Международном научном симпозиуме «Неделя горняка». Картозия Б. А., Панкратенко А. Н., Солодов С. В., Калинин Д. В., – М. Горная книга, 2022, – С. 16.

Для связи с авторами

Картозия Борис Арнольдович
b_karto@mail.ru





**11 сентября 2022 г. свое 85-летие отметил
Азат Габбасович Валиев, член Тоннельной
ассоциации России с 1999 г.**

Азат Габбасович родился в деревне Новая Амзя, Билярского района, Татарской АССР.

Поработав в родных краях в колхозе, отслужив в армии, Азат Габбасович с 1962 г. начинает свой продолжительный путь в подземном строительстве с горнорабочего очистного забоя в тресте «Красногвардейскутоль», далее

проходя все ступеньки горного мастерства в тресте «Тулшахтострой» и подземных структурах «Главмосстроя»: подземный проходчик, горный мастер на подземнощитовых работах, начальник шахтостроительного участка, начальник СУ по тоннельным работам треста горнопроходческих работ, главный инженер, начальник управления.

Без отрыва от производства Азат Габбасович в 1971 г. окончил Московский техникум по специальности «Холодильно-компрессорные машины и установки», а в 1986 г. – курсы повышения квалификации руководящих работников и специалистов строительства при Московском инженерно-строительном институте (МИСИ) им. В. В. Куйбышева.

С января 1993 г. Азат Габбасович Валиев – бессменный руководитель организованного им одного из ведущих в подземной отрасли предприятия – Акционерного общества «Специализированное управление подземных работ» (АО «СУПР»).

Организацией построены многие подземные и другие сооружения в Москве и области, в том числе такие уникальные, как канализационный коллектор, соединяющий города Химки и Лобня, Хорошевская тепломагистраль, проведена реконструкция участка Волоколамского шоссе и благоустройство г. Королев и др. С июля 2016 г. Азат Габбасович передает дело всей жизни, оперативное руководство организацией своему сыну Булату – горному инженеру, пошедшему по стопам отца, а сам становится советником нового генерального директора.

Азат Валиев, прожив более полувека вдали от своей родины, не отдалился от нее. Все эти годы он был как бы посланником своего народа, демонстрируя его лучшие качества – трудолюбие, умение хранить семейные и родовые связи.

Как меценат, Азат Валиев способствовал открытию в Москве памятнику выдающемуся представителю татарского народа – Габдуле Тукаю, спонсировал возведение мечети «Кул Шариф» и реставрацию Благовещенского собора в Казанском кремле, выделял средства на строительство храма Христа Спасителя и многих других православных святынь.

Имя Азата Валиева, заслуженного строителя РФ, незаурядного, целеустремленного человека, хорошо известно и в правительственных, и в профессиональных кругах Москвы.

***Правление Тоннельной ассоциации России и коллектив редакции
журнала «Метро и тоннели» поздравляют замечательного горняка
Азата Габбасовича Валиева с юбилеем, желают крепкого здоровья
и долгих лет жизни.***

НАДЕЖНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ТОННЕЛЕЙ: ИТОГИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

А. В. Космин, В. В. Космин, Российская академия транспорта

Освещенность дорожных тоннелей и подземных переходов является одной из самых ответственных задач обеспечения безопасности движения, по крайней мере, по двум причинам. С одной стороны, малейшее снижение остроты зрения из-за недостатка или избытка света подвергает человеческие жизни непосредственному и высокому риску. С другой стороны, освещение тоннелей является чрезвычайно дорогостоящим в экономическом, энергетическом, экологическом и даже социальном плане. Компромисс между безопасными тоннелями и надежными осветительными установками сравнительно давно требует глубокого внимания и оптимизации. Интересные попытки предпринимались давно, но только в последнее десятилетие по всему миру всерьез занялись разработкой надежных моделей и предложений по снижению воздействия освещенности на безопасность дорожного движения в тоннелях [1]. Это объясняется высокой сложностью визуального восприятия, интерпретации стимулов и реакции водителей. Тем не менее, уже можно подвести некоторые итоги и уточнить предстоящие задачи.

Освещение тоннелей считается парадоксальным вопросом по двум основным причинам:

- сложность автовождения в тоннелях, наряду со значительным форсированием визуального и психологического состояния водителей, практически исключает возможность иметь осветительную установку, удовлетворяющую всех потенциальных пользователей;
- чем больше габариты осветительной установки для улучшения визуальных и психологических показателей работоспособности водителей, тем выше потребление энергии и сырья, а также тем больше экономическое и экологическое воздействие. Оно еще больше, если одновременно рассматривать потребление вспомогательного освещения для аварийных ситуаций, что, за некоторым исключением, обычно не учитывается в исследованиях, нацеленных на экономию энергии в тоннелях.

Особенности освещения тоннелей: основной вызов для безопасного вождения

Автомобильные и городские тоннели и подземные переходы (далее все они здесь объединены общим понятием тоннели) являются своеобразной инфраструктурой, критически важной в отношении безопасности из-за сложности движения в закрытом или полузакрытом пространстве, психологического напряжения и т. д.

Последнее обстоятельство существенно зависит от зрительной адаптации у водителя: чем ниже уровень освещенности и хуже распределение яркости, тем время его реакции больше, тем менее эффективно водители воспринимают скорость и расстояние при движении в тоннеле, тем выше

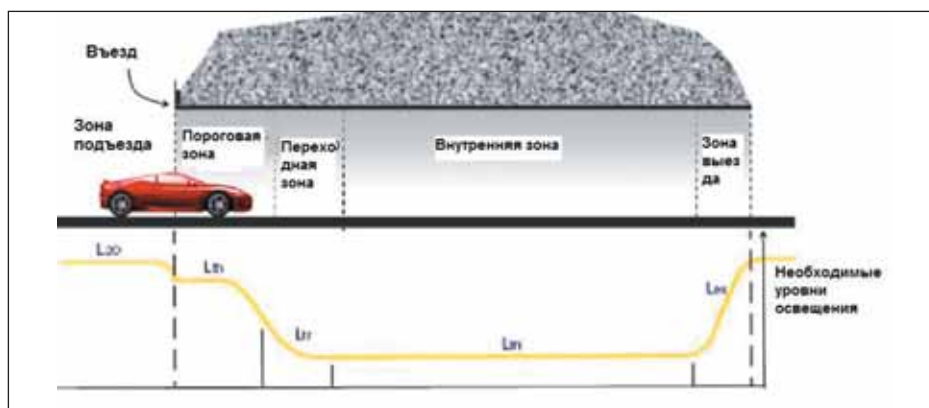


Рис. 1. Зоны тоннеля и их уровни яркости [2]

риск ДТП. Этому способствуют несколько обстоятельств.

1. Зрительная адаптация замедляется при переходе от яркого окружения к слабоосвещенному, что происходит в дневное время: водители, въезжающие в слабо освещенные тоннели днем, временно в большей или меньшей степени теряют зрительные возможности. Это обстоятельство должно быть смягчено очень высокими уровнями яркости (указанный уровень представляет собой световой поток, излучаемый единицей поверхности в одном данном телесном угле) от дороги и от стен на въезде в тоннель (пороговая зона). Устройство освещения в переходной зоне, сразу после въезда, должно следовать постепенному снижению уровня освещения (рис. 1) в целях экономии энергии и ресурса осветительных установок, одновременно адаптируясь к кривой зрительной адаптации человека.

2. Эффект мерцания: чередование светлых и темных полос на дорожном покрытии, поскольку из-за ограниченной высоты тоннелей осветительные приборы приходится размещать относительно низко. Проблема решается применением широкоугольных прожекторов или установкой большего их числа.

3. Эффект «черной дыры»: при подъезде к тоннелю в дневное время и недостаточно высоком уровне освещенности водитель вследствие адаптации к сильной освещенности не видит обстановку в тоннеле, не может оценить наличие препятствий.

4. Эффект сужения, обусловленный бинокулярной конвергенцией на больших расстояниях, которая создает соответствующее зрительное впечатление суживающегося свободного пространства (стены как бы сходятся) и может побудить водителя сместить траекторию движения на центральную полосу.

5. Эффект «белой дыры»: при приближении к выезду из тоннеля возникает угроза ослепления, повышая опасность вождения в этой зоне.

Преодоление указанных особенностей движения в зоне тоннеля, приводящих к

снижению безопасности, требует высоких уровней яркости (особенно для преодоления проблем зрительной адаптации и эффекта «черной дыры») и/или увеличенного числа осветительных устройств (для преодоления эффекта мерцания). Это вызывает значительный рост потребления энергии, материалов, трудовых ресурсов. Выход из сложившейся ситуации – максимальное использование естественного освещения.

Стратегии снижения энергопотребления осветительных систем

Эти стратегии призваны уменьшить необходимую яркость и, соответственно, потребность в электроэнергии. Для этого практикуют следующее.

1. Понижение требований к освещению посредством сокращения длины пороговой зоны, поскольку именно на нее приходится максимум потребляемой мощности и числа осветительных установок, и чем она короче, тем экономия больше. Однако эта зона не может быть произвольно сокращена, поскольку ее длина не может быть меньше тормозного пути (ТП). Поскольку ТП зависит от максимальной скорости, разрешенной на данной дороге, её снижение, например, со 100 км/ч до 90 или 80 км/ч, может дать значительную экономию.

2. Ослабление требований к освещению уменьшением яркости L_{20} (см. рис. 1) посредством изменения окружения в области портала с помощью элементов с низким коэффициентом отражения. Таким образом понижается освещенность, воздействующая на глаз водителей на подъезде к тоннелю с ТП в конусе 20° (L_{20}). В качестве таких элементов служат, в основном, деревья, которые, однако, не позволяют заметно снизить L_{20} , поскольку невозможно вырастить в этих местах густой светонепроницаемый лес. Более эффективны гибкие растения, такие как плетущийся обыкновенный. Предлагается также защитная сетка, но она еще не нашла применения. Снижение отражательной способнос-

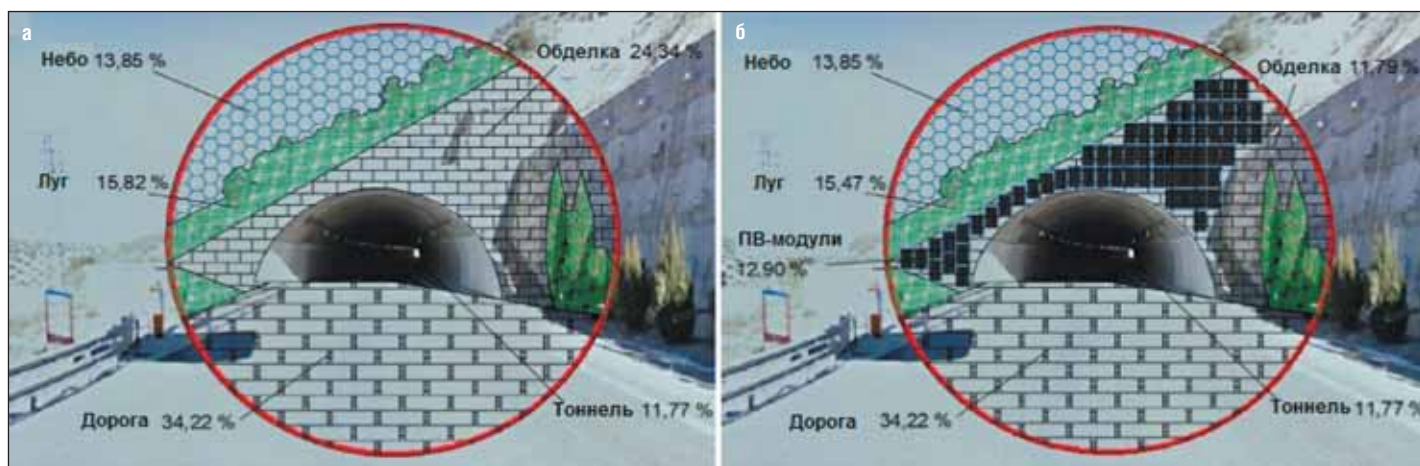


Рис. 2. Конус L20 перед порталом тоннеля в Испании: а – текущее состояние с чистым бетоном; б – вариант размещения 64 черных солнечных панелей (ПВ-модулей) [3]

ти в зоне портала возможно с помощью активных элементов, таких как черные солнечные панели, которые служат также и для питания аварийного освещения и др. (рис. 2).

3. Увеличение отражательной способности дорожного покрытия для достижения требуемой яркости при меньшей мощности осветительных установок. Требования к освещению в автодорожных тоннелях выражаются в терминах яркости (это световой поток, излучаемый или отражаемый единицей поверхности и телесного угла в одном заданном направлении) от дорожного покрытия и от обделки тоннеля. Учитывая относительную свободу установки панелей и других элементов, включая покраску, позволяющих добиться желаемой отражательной способности обделки, наиболее важным элементом является дорожное покрытие, поскольку оно может быть выполнено из любого материала, при условии, что он обеспечивает скольжение и дренажные свойства, необходимые для безопасного движения. Поскольку освещенность дорожного покрытия пропорциональна количеству светового потока, попадающего на единицу поверхности (освещенность) и отражательной способности покрытия, чем выше отражательная способность покрытия, тем больше количество отраженного светового потока и, следовательно, освещенность. В некоторых исследованиях предлагаются покрытия с более высоким коэффициентом отражения под различными источниками света, чтобы увеличить освещенность дороги без увеличения потребляемой мощности проекторов и даже покрытия из флуоресцирующих материалов.

4. Применение систем управления для регулирования светового потока от осветительных установок к условиям внутри тоннеля и вне его в каждый момент времени. Такие системы достигли большого прогресса в связи с внедрением светодиодных установок, особенно в пороговой зоне.

5. Использование осветительных установок с более высокими коэффициентами технического обслуживания. Классические установки HPS, LPS и MH содержат одну лампу, прогрессирующее старение которой умень-

шает излучаемый световой поток. Поэтому в расчеты вводится указанный коэффициент, меньший 1. Светодиодные прожекторы ослабляют проблемы, связанные с техническим обслуживанием, поскольку светодиоды заключены в корпус и не используют отражатели, а в результате потребность в избыточной мощности снижается.

Стратегии ввода солнечного света внутрь тоннелей

Эти стратегии не снижают требования к освещенности, а непосредственно обеспечивают ее. В данном случае возможны три подхода.

1. Полное или частичное исключение пороговой зоны. Если часть или всю эту зону сместить во внешнюю сторону, чтобы солнечный свет попадал на дорогу, получится значительная экономия. С этой целью предложены полупрозрачные натяжные конструкции из специальной ткани; конструкции типа беседок (перголы), пространство между балками которых может быть пустым или заполнено полупрозрачными материалами для увеличения равномерности освещения дороги, и структуры, включающие в себя некоторые виды сетки с мелкими отверстиями. Основным достоинством в данном случае являются низкая цена и быстрая амортизация. При этом, однако, удлинится тоннель и, соответственно, увеличивается время стрессового воздействия, в том числе эффекта мерцания и др.

2. Применение световодов в виде полых труб с зеркалами, меняющими направление солнечных лучей, или с оптическими волокнами. В последнем случае задача решена с помощью гелиостатов, подающих свет в нужных условиях, как показано на рис. 3.

3. В случае трассы с последовательностью тоннелей с короткими открытыми участками между ними предложено разделить эти группы на несколько зон в соответствии с потребностями в освещении для повышения их безопасности. Указанные открытые участки рекомендуется покрывать асимметричными полупрозрачными конструкциями с целью ослабить потери на адаптацию в промежуточном пространстве. Такая стратегия уменьшает требуемую освещенность и

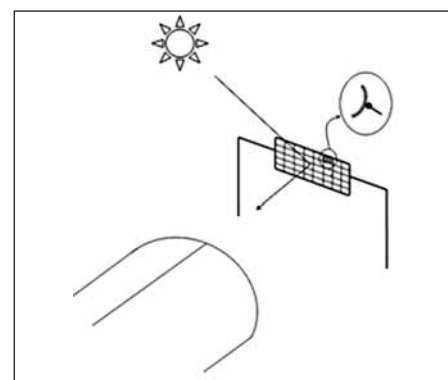


Рис. 3. Гелиостат, подающий солнечный свет в матрицу световых труб [4, 5]

одновременно использует солнечный свет в пространстве между тоннелями.

Список литературы

1. Peña-García, A. Sustainable tunnel lighting: One decade of proposals, advances and open points, (2022). *Tunnelling and Underground Space Technology* 119, 104227. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104227>.
2. Gil-Martín, L. M., Peña-García, A., Hernández-Montes, E., Espín-Estrella, A., (2011). *Tension structures: A way towards sustainable lighting in road tunnels*. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 26 (1), 223–227.
3. Peña-García, A., Gómez-Lorente, D., 2020. *Installation of solar panels in the surroundings of tunnel portals: a double-targeted strategy to decrease lighting requirements and consumption*. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 97, 103251. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103251>.
4. Peña-García, A., Gil-Martín, L. M., Rabaza, O., 2016. *Application of translucent concrete for lighting purposes in civil infrastructures and its optical characterization*. *Key Eng. Mater.* 663, 148–156.
5. Peña-García, A., Gil-Martín, L. M., Hernández-Montes, E., 2016. *Use of sunlight in road tunnels: An approach to the improvement of light-pipes' efficacy through heliostats*. *Tunn. Undergr. Space Technol.* 60, 135–140.

Для связи с авторами

Космин Владимир Витальевич
vvcosmin@mail.ru



О СБОРНИКЕ СТАТЕЙ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОГО НАЗНАЧЕНИЯ»



В конце прошлого года издательство «Перо» в г. Москве ограниченным тиражом издало сборник статей, посвященный 75-летию ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», под названием «Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения»*.

3 декабря 1946 г. в Ленинграде для проектирования Ленинградского метрополитена был создан филиал московского института «Метропроект» – «Ленметропроект». 19 июля 1977 г. Ленметропроект был преобразован в самостоятельный Ленинградский государственный проектно-изыскательский институт транспортного строительства «Ленметрогипротранс», ныне ОАО «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс».

В сборнике объемом 16 печ. л. формата 84×108/16 опубликованы 25 статей, авторами которых являются сотрудники института, а также других проектных, научно-исследовательских, учебных, производственных организаций Санкт-Петербурга, Москвы, Тулы и других городов, отражающих актуальные вопросы проектирования, строительства и эксплуатации метрополитена, горных тоннелей и других подземных сооружений.

*Под редакцией **М. О. Лебедева**, заместителя генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» по научно-исследовательской работе

В статьях приведена информация по развитию конструктивных и технологических параметров строительства, по оценке рисков в вопросах обеспечения безопасности при производстве работ и эксплуатационной надежности подземных сооружений, о технологических особенностях работы современных тоннелепроходческих комплексов, материалы по экологическому сопровождению проектирования, строительства и эксплуатации объектов метрополитена и транспортных тоннелей.

Отдельный блок статей рассматривает результаты при строительстве подземных сооружений натурных (экспериментальных) исследований работы строительных конструкций, состояния вмещающего массива и влияния на существующие на дневной поверхности здания, многие из которых являются памятниками архитектуры и др.

Такие исследования важны как при проектировании аналогичных по конструктивным решениям подземных сооружений, так и при проектировании тоннелей в схожих инженерно-геологических условиях. А также для разработки новых технических решений, направленных на минимизацию влияния на существующую окружающую среду.

Редакция журнала считает целесообразным ознакомить читателей с материалами сборника, проаннотировав наиболее интересные статьи.

МОНИТОРИНГ ПРОЦЕССА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЦЕМЕНТНЫМИ РАСТВОРАМИ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

С. В. Андрианов, Д. К. Лиханов, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

Инъекционное закрепление грунтов широко применяется при строительстве промышленных и гражданских зданий, в подземном и дорожном строительстве. Данная методика используется при усилении грунтового основания сооружений, защиты фундаментов от агрессивного воздействия, ликвидации водопритоков (течей) в горных выработках, удаления связной воды в грунтах, увеличения коэффициента уплотнения грунта.

Качество инъекционного закрепления

грунтового массива проверяется бурением скважин и проходкой шурфов с отбором монолитов для лабораторных испытаний, статическим и динамическим зондированием, геофизическими методами. В статье приводятся примеры работ методом георадиолокации по контролю качества закрепления грунтов, оценке сплошности грунтоцементного массива на различных объектах.

Предлагаемая методика дает возможность:

- разработать критерии для оценки ка-

чества закрепления грунтов;

- контролировать сплошность закрепления на строительных объектах и своевременно устранять разуплотненные зоны компенсационным нагнетанием;

- оценивать контур закрепленного массива, его пространственное распределение, местоположение ослабленных зон;

- установить корреляцию между физико-механическими свойствами грунтов и добротностью поля обратного рассеивания для различных типов горных пород.

К ВОПРОСУ О СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

А. Д. Басов, К. А. Дорохин, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

В статье проведен анализ различных сейсмических событий и их последствий для существующих транспортных тоннелей. Рассмотрены наиболее часто происходившие в результате сильных землетрясений нарушения в конструкциях тоннелей РФ.

В последние годы случаев катастрофических разрушений тоннелей при землетрясениях не наблюдалось. В этом, в определенной степени, заслуга изыскателей и проектировщиков при выборе рациональных трасс на сейсмически опасных территориях, применение строителями современных технологий и сейсмостойких конструкций. Но главной причиной отсутствия разрушений в том, что вблизи тоннелей, к счастью, не случалось землетрясений 8–9 и более баллов.

По современным картам общего сейсмического районирования районы расположения тоннелей в Восточной Сибири, Северном Кавказе отнесены к зонам с вероятной сейсмической интенсивностью 9 баллов и более. За длительный срок эксплуатации некоторые тоннели неоднократно подвергались воздействию сильных землетрясений. При этом анализ состояния их конструкций показывает, что землетрясения вплоть до самых сильных не вызвали серьезных повреждений и разрушений тоннелей.

На первый взгляд, кажется, что тоннели при колебаниях грунтового массива при землетрясениях находятся в лучшем положении по сравнению с наземными сооружениями, так как грунтовый массив, в котором расположен тоннель, активно воздействует на обделку, и одновременно сам служит препятствием для ее перемещения.

Однако для подземных конструкций инерционные силы от элементов конструкции являются лишь частью сейсмической нагрузки, притом не всегда большей, а основным результатом воздействия является изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива при прохождении сейсмических волн.

Одним из способов повышения сейсмостойкости конструкций тоннелей является использование многослойных гибких обделок с возможностью проскальзывания отдельных слоев, устройство антисейсмических швов между секциями обделок, сочленений с шахтными стволами и соседними выработками, исключающими на них концентрацию напряжений, увеличение сечения тоннеля в зонах разломов.

Конструкция подземного сооружения с жесткостью отличной от жесткости грунтов, искажает поле сейсмических волн, поэтому в грунте вокруг подземной выработки образуются зоны концентрации напряжений. Если конструкция имеет достаточную гибкость, то она будет следовать за смещениями и деформациями грунтового массива. Если же конструкция имеет жесткость, большую чем жесткость вмещающего массива, то на границе с обделкой поле сейсмических волн претерпевает изменения, вызывая концентрацию напряжений в грунте вокруг обделки.

Очевидно, что обеспечение сейсмостойкости в каждом из перечисленных случаев расположения тоннеля в грунтовом массиве неодинаковые и для каждого варианта взаимодействия следует рассматривать антисейсмические мероприятия и выполнять анализ напряженно-деформированного состояния системы «тоннель-массив». Фундаментальные проблемы расчета, проектирования, строительства тоннелей в сейсмических районах отражены в фундаментальных трудах отечественных ученых.

Научно-исследовательским отделом ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» была разработана система мониторинга за состоянием тоннельных конструкций при колебаниях, составной частью которого являлась система сейсмометрических наблюдений. В тоннеле были установлены специально сконструированные сейсмодатчики, деформометры и приемные антенны естественного электромагнитного и сейсмометрического поля. Однако, к сожалению, в эксплуатацию данная система мониторинга так и не была запущена.

РЕАЛИЗАЦИЯ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

К. П. Безродный, М. О. Лебедев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

Представлены разработанные и внедрённые в практику строительства последних двух десятилетий Петербургского метрополитена новые инновационные технологии и конструкции, направленные на минимизацию осадок дневной поверхности, как для четвертичных отложений, так и для плотных протерозойских (кембрийских) глин.

Несмотря на сравнительно небольшие объёмы строительства Санкт-Петербургского метрополитена за последние два десятилетия реализовано большое количество

новых конструктивных и технологических решений.

Широко применяется геотехнический мониторинг, являющийся элементом технологии строительства, что позволяет решать большое количество задач при строительстве подземных сооружений и использовать полученные результаты для проектирования в схожих инженерно-технических условиях, а также контролировать напряженно-деформированное состояние обделки при эксплуатации метрополитена.

Для уменьшения осадок дневной поверхности, снижения отрицательного влияния на историческую городскую застройку от негативного воздействия горнопроходческих работ при строительстве Петербургского метрополитена применен комплексный подход, сочетающий в себе применение малоосадочной технологии сооружения для конкретных инженерно-геологических условий с обязательным геотехническим мониторингом строительного процесса.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЛАДИВОСТОКСКОГО ТОННЕЛЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ – НОВЫЙ ПОДХОД К РЕКОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

М. Ю. Беленький, Г. П. Перервенко, Д. Н. Чумаченко, И. В. Александров, Ю. Е. Прокаев, М. И. Анциферов, АО «Московский метрострой», ООО «ММС Интернэшнл», Москва

Рассматриваются конструктивные и технологические решения при реконструкции Владивостокского транспортного тоннеля («Тоннель имени тов. Сталина»), пришедшего за время эксплуатации в неудовлетворительное состояние.

Специалистами АО «Мосметрострой» по просьбе АО «РЖД» предложен вариант приведения тоннеля в нормативное состояние с учетом обеспечения эксплуатации тоннеля во время выполнения строительных работ, сохранения существующего габарита тоннеля, снижения стоимости и сроков работ по отношению к первоначальному проекту с остановкой движения.

Проведя инженерный анализ фактического состояния тоннеля, Мосметрострой разработал проект, предусматривающий создание многослойной конструкции постоянной обделки тоннеля, в котором удалось применить самые передовые разработки, применяемые в мировой практике подземного строительства и обеспечить решение поставленной задачи в технологические «окна» без остановки движения поездов.

В ходе работ по модернизации были применены следующие современные технологии и инновационные материалы:

- для заполнения пустот за обделкой тоннеля и закрепления грунтового массива наряду с нагнетанием цементно-песчаного и цементно-силикатного растворов применялось инъецирование раствора на основе микроцемента «MasterRoc MP 650» (BASF);
- для водоподавления активных течей и создания противофильтрационной завесы выполнено инъецирование обделки и заобделочного массива полиуретановыми смолами «Аквидур ТС-Н» и «Аквидур ТТ» (НПО СТРИМ);
- для изоляции стыков деформационных швов использовался герметизирующий профиль «Плуг» (НПО СТРИМ), набухающий при контакте с водой на основе гидрофильного полиуретана и герметизирующая лента для деформационных швов «MasterSeal 930» (BASF);
- для гидроизоляции тоннеля применены полимерные мембраны, наносимые методом напыления и обладающие двухсторонней

адгезией «MasterSeal 345» (BASF) и «Стрим-флекс Н» (НПО СТРИМ).

Примененные технические решения позволили получить принципиально новую многослойную обделку тоннеля, состоящую из старых и новых конструктивных элементов, с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками, в которой все слои включены в работу конструкции.

Комплекс работ, описанный выше, показал свою эффективность – в результате выполненных работ были обеспечены все необходимые параметры по приведению конструкций тоннеля до нормативного состояния.

Достигнутые положительные результаты дают возможность в дальнейшем распространить эту технологию при модернизации других многочисленных тоннелей, расположенных на огромной сети железных дорог России и за рубежом, многие из которых имеют значительный возраст с момента постройки и также требуют модернизации под современные требования и условия эксплуатации

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБДЕЛОК ШАХТНЫХ СТОЛОВ МЕТРОПОЛИТЕНА, СООРУЖАЕМЫХ ПОД ЗАЩИТОЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Ф. С. Бурака, Р. И. Ларионов, Е. В. Степуков, С. В. Шатунов, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

В течение 15 лет в Санкт-Петербурге при проходке некоторых шахтных стволов метрополитена применяется новая техноло-

гия. Строительство производится в железобетонной обделке под защитой ограждающих конструкций. В качестве ограждающих кон-

струкций применяется «стена в грунте», сооружаемая двумя разными способами. Для осуществления непрерывных наблюдений за состояни-

ем системы «массив – обделка» применяется система геотехнического мониторинга. С помощью струнных деформометров, установленных на внешнем и внутреннем контурах обделки, определяются величины нормальных танген-

циальных напряжений. Производится исследование напряженно-деформированного состояния обделки в полевых условиях и результаты сопоставляются с расчётными показателями. Геотехнический мониторинг позволяет контро-

лировать и при своевременных мероприятиях (разрабатываемых на основании результатов мониторинга) минимизировать влияние горных работ на окружающую среду и повышает безопасность горнопроходческих работ.

ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Р. В. Введенский, С. Г. Гендлер, ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

Объектом исследования являлись транспортные тоннели на совмещённой (автомобильной и железной) дороге Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». Строительство и эксплуатация данных тоннелей была связана с негативным воздействием на

окружающую среду. Анализ влияния технологических процессов, сопровождающих строительство и эксплуатацию тоннелей на окружающую среду, был осуществлён на основе данных натурных наблюдений. Приведены результаты измерений содержания загрязняющих веществ

в атмосферном воздухе и почве в периоды строительства и эксплуатации транспортных тоннелей. Установлены закономерности, характеризующие уровни негативного воздействия на различные компоненты природной среды в зависимости от периода строительства.

К МОДЕЛИРОВАНИЮ ДЕФЕКТОВ ТОННЕЛЬНЫХ ОБДЕЛОК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

В. А. Гурский, К. А. Рябов, О. А. Пирожков, ООО Научно-Исследовательский Центр «Бамтоннель», г. Новосибирск

Специальные обследования железнодорожных тоннелей с монолитной бетонной и железобетонной обделкой без гидроизоляции позволили выделить категории дефектов с распределением их по причинам возникновения. Задачей эксплуатирующих организаций является недопущение предотказных состояний путем организационно-технических мероприятий.

По результатам специальных обследований и поверочных расчетов определяют категорию технического состояния тоннелей и принимают решение о их капитальном ремонте или реконструкции.

Требованиями Федерального Закона 384-ФЗ, СП 63.13330.2018, ГОСТ 27751-2014 поверочные расчеты должны учитывать реальное состояние конструкций

с учетом имеющихся дефектов, изменений нагрузки и климатических воздействий.

Для оценки влияния нескованного вывала на напряженно-деформированное состояние железобетонной обделки выполнен расчет с моделированием дефекта уменьшением толщины обделки внутри его контура.

ОПЫТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Е. И. Домпальм, Р. В. Введенский, Л. В. Рыжова, А. Ю. Котомина, Н. В. Коврижных, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

Сооружение объектов метрополитена сопряжено с негативным воздействием техногенных процессов на компоненты окружающей природной среды: атмосферный воздух, водные ресурсы, а также неблагоприятно сказывается на здоровье людей, проживающих на близлежащих территориях.

Минимизировать воздействие строительства на окружающую среду возможно при осуществлении непрерывного экологического сопровождения проектирования и строительства метрополитена на всех этапах работ.

В статье приведены основные этапы экологического сопровождения проектирования и строительства метрополитена.

На первом этапе проводится анализ градостроительной ситуации в районе предполагаемого строительства с целью выявления санитарно-гигиенических и экологических ограничений, к которым относятся:

- зоны особо охраняемых природных территорий;
- зон охраны памятников истории и культуры, историко-культурных комплексов и объектов, заповедных зон;
- санитарно-защитные зоны;
- водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы;
- зоны санитарной охраны источников водоснабжения;
- зоны залегания полезных ископаемых и др.

Следующий этап экологического сопровождения это инженерно-экологические изыскания, регламентируемые Градостроительным кодексом РФ – комплекс исследований, проводимых для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей среды под влиянием антропогенной нагрузки с целью предотвращения и уменьшения вредных, опасных экологических последствий и сохранения оптимальных условий природной среды.

К основным исследованиям, входящим в состав изысканий, относятся:

- радиационное обследование участков;
- геоэкологическое опробование грунтов;
- газогеохимические исследования;
- оценка физических воздействий.

Часто, в ходе проведения изысканий, измеренные уровни шума и вибрации на территории жилой застройки превышают соответствующие предельно-допустимые значения. Измерения физических факторов (шума, вибрации, напряженность ЭМП) – неотъемлемая часть инженерно-экологических изысканий на селитебных территориях.

Измеренные в ходе проведения изысканий значения могут быть использованы для расчетов уровней шумового и вибрационного воздействия строительства, а, как следствие, для проведения мероприятий, направленных на снижение данного воздействия до нормативных значений.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С ЛИКВИДАЦИЕЙ АВАРИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

К. А. Дорохин, О. В. Бойко, А. М. Сухарев, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

При освоении подземного пространства для устройства транспортных коммуникаций, подземных паркингов, торговых зон и т. д. существует риск возникновения аварийных ситуаций, связанных с горнопроходческими работами. Такие аварии могут быть опасны как для строящегося объекта, так и для существующей застройки в зонах влияния строительных работ.

Снижение уровня риска после проявления первых признаков начала аварийной ситуации при строительстве подземных сооружений возможно только при условии проведения оперативных и продуманных мероприятий. При этом принятие противоаварийных решений зависит от объективной оценки инженерно-геологических условий системы «вмещающий массив - горная выработка», которые эффективно могут быть изучены с помощью геофизических методов.

Существующие методы инженерной геофизики, например, сейсмоакустическая томография в различных модификациях, позволяют исследовать практически любые объемы грунтового массива с высокой разрешающей способностью даже в стесненных условиях.

В статье изложен опыт применения сейсмоакустической томографии в варианте просвечивания между горными выработками для выявления, образовавшейся в результате вывала со лба забоя, ослабленной области во вмещающем грунтовом массиве, а также для последующей оценки качества проведенных мероприятий по закреплению грунтового массива.

По данным сейсмоакустических исследований были успешно выделены разуплотненные области, которые возникли в результате произошедшего вывала грунта

из лба забоя при проходке горной выработки. Полученные параметры позволили спроектировать эффективные мероприятия для укрепления грунтового массива и устранения аварийной ситуации для обеспечения возможности дальнейшей проходки горной выработки. После проведения превентивных мероприятий по закреплению грунтового массива методом сейсмоакустики были проведены контрольные исследования, которые доказали эффективность принятых решений.

Сейсмоакустические исследования зарекомендовали себя как надежный инструмент по выявлению неблагоприятных факторов и процессов в грунтовом массиве, возникающих при строительстве подземных сооружений, так и как инструмент для оперативного контроля эффективности уже проведенных мероприятий для ликвидации аварии.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СПЛОШНОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТИПА «СТЕНА В ГРУНТЕ»

Ю. С. Исаев, К. А. Дорохин, О. В. Бойко, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

Для обеспечения безопасного ведения строительных работ зачастую сооружаются различные виды ограждающих и защитных конструкций. Строительство глубоких котлованов, особенно в черте города, предполагает использование технологии «стены в грунте» (СВГ) до выемки грунта для исключения деформаций вмещающего грунтового массива и, как следствие, неравномерных осадок зданий, находящихся в зоне влияния строительных работ.

При этом «стена в грунте» должна соответствовать проектным расчетам на прочность с учетом как инженерно-геологических условий, так с учетом качества её исполнения.

В связи с тем, что «стена в грунте» технологически производится «вслепую», когда нет возможности прямыми методами оценить качество её исполнения, появляется необходимость применения геофизических способов контроля.

Прочность на сжатие является основным показателем качества бетона, и по нему устанавливается фактический класс бетона и его соответствие проекту.

В результате сейсмоакустических исследований выделенные зоны ранжируются по уровню опасности, и заказчику передается заключение о необходимости проведения превентивных мероприятий по закреплению массива за СВГ до начала выемки грун-

та из котлована для исключения прорыва водно-грунтовой массы в котлован.

Преимущество применения сейсмоакустических методов для решения данных задач объясняется, прежде всего, экономической эффективностью, мобильностью, скоростью выполнения и наличия высоких корреляционных связей между скоростью распространения продольных волн и физико-механическими свойствами исследуемой среды.

В статье приводятся примеры результатов сейсмоакустической томографии по контролю качества (оценке сплошности) СВГ в модификации МСП (межскважинное сейсмоакустическое просвечивание).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ РАДАРНОЙ СПУТНИКОВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ю. С. Исаев, М. О. Лебедев, В. О. Михайлов, Е. И. Смольянинова, Е. П. Тимошкина, П. Н. Дмитриев, С. А. Хайретдинов, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва

Рассматриваются возможности применения технологии спутниковой радарной интерферометрии для детального отсле-

живания смещений земной поверхности и техногенных объектов. Эти технологии чрезвычайно важны для решения различных научных

и практических задач геофизики, геодинамики и инженерной геологии. С помощью спутниковой интерферометрии выполняются оценки

активности опасных геологических процессов (оползни, карст и пр.), выполняется мониторинг смещений зданий и сооружений при освоении подземного пространства городов, при

подземной отработке полезных ископаемых и решении многих других задач. В работе приведены примеры применения интерферометрической съемки при мониторинге смещений и

деформаций земной поверхности и сооружений на оползневых склонах, влияния строительства объектов транспортной инфраструктуры на территории Санкт-Петербурга.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБДЕЛКИ КОЛЛЕКТОРНОГО ТОННЕЛЯ ПРИ ВОССОЗДАНИИ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

В. Н. Кавказский, Д. Ю. Графов, Д. А. Соловьёв,

кафедра тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I

Службы корпоративных коммуникаций Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «Российские железные дороги», Санкт-Петербург

В статье на примере реально существующего натурного объекта рассматривается проблема сохранения работоспособности коллекторных канализационных тоннелей при воссоздании объектов культурного наследия в условиях Санкт-Петербурга. В рамках проведенных исследований сформирована база анализируемых показателей, в состав которой вошли: данные геолокации грунтового массива; геодезические измерения; показатели деформации грунта, полученные посредством инклинометрических сква-

жин; графики осадок грунтового массива.

Выполнен анализ полученных данных, который дополнил деформационную картину, представленную результатами математического моделирования при постановке плоской задачи. Оценка результатов в сочетании с натурными осмотрами объекта показала необходимость в создании трёхмерной модели для возможности оценки напряженно-деформированного состояния подземного сооружения в объеме и по всей зоне влияния от воссоздаваемого объекта.

Выполненный расчет позволил связать значения напряженно-деформированного состояния коллекторного тоннеля с влиянием от строящегося здания и конструкций, а также определить актуальную задачу для дальнейших исследований в части разработки методики экспресс-оценки напряженно-деформированного состояния обделок тоннельных сооружений в наиболее распространенных для Санкт-Петербурга условиях, сочетаниях нагрузок и вариантах конструктивного исполнения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СООРУЖЕНИЯ ПИЛОННОЙ СТАНЦИИ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

В. Н. Кавказский, Д. М. Оленич, кафедра тоннелей и метрополитенов Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург

В последнее время все большее развитие в области подземного строительства получают конструкции из монолитного железобетона. Это стало возможным, благодаря развитию современных технологий тоннелестроения, таких как NATM и ADECO&RS, прочно зарекомендовавших себя за рубежом. Являясь малоосадочными способами сооружения подземных конструкций, они нашли широкое применение не только при проходке горных транспортных тоннелей, но и при строительстве в городской среде, где осадки и негативное влияние на окружающую инфраструктуру играют решающую роль в выборе той или иной технологии.

Зарубежный опыт строительства в аналогичных по своим физико-механическим характеристикам грунтах дает повод утверждать о возможности применения новых технологий и у нас в стране. Однако эта задача требует комплексного подхода к ее решению.

В статье приводится экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности сооружения пилонной станции из монолитного железобетона в инженерно-

геологических условиях Санкт-Петербурга на примере планируемой станции метрополитена «Черниговская» строящейся Красносельско-Калининской линии от станции «Обводный канал – 2» до станции «Юго-Западная».

В результате выполненных математического и физического моделирования было установлено, что станция получилась достаточно жесткой с большим запасом несущей способности.

Вертикальные деформации станционных тоннелей невелики, и составляют порядка 5–7 мм для среднего, а также 7–9 мм для боковых тоннелей. При этом осадки дневной поверхности, с учетом смещения самих станционных тоннелей, достигают 25 мм. С учетом моделирования этапов проходки суммарные осадки дневной поверхности в среднем достигли значений 35–40 мм.

Деформативные характеристики, полученные при физическом и математическом моделировании, совпадают с погрешностью 10–15 %, что вполне удовлетворяет требованиям инженерной точности.

Подковообразное сечение станционных тоннелей вызывает резкий перелом ней-

тральной оси тоннельной обделки, в результате чего образуются характерные зоны концентрации напряжений. Так, наибольшие напряжения возникают в зонах сопряжения верхних и нижних сводов станционных тоннелей со стенами, а также на внутренней поверхности обратных сводов.

Несмотря на значительный запас несущей способности станционного комплекса, а также большую жесткость всей конструкции в целом, имеет место говорить о недостаточной проработке конструктивных решений станции.

Переход от подковообразного сечения станции с прямыми стенами к плавному очертанию всех трех тоннелей позволит рационально использовать внутренне пространство станционного комплекса и значительной экономии материала тоннельной обделки, а отсутствие резких переломов нейтральной оси уменьшить характерные зоны концентрации напряжений.

Данные результаты говорят о возможности применения в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга современных малоосадочных способов сооружения подземных конструкций, таких как NATM и ADECO&RS.

Подобные технологии сооружения позволят снизить осадки дневной поверхности вблизи существующей исторической застройки города, а податливость временной крепи уменьшить нагрузки на сооружения, снизить их ма-

териалоемкость, и как следствие стоимость возводимых конструкций.

На основании полученных исследований были сделаны выводы и рекомендации, применительно к существующим конструктив-

ным решениям будущей станции «Черниговская». Авторы статьи надеются, что полученные результаты будут способствовать внедрению новых технологий строительства в отечественном метростроении.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРОХОДКИ ДВУХПУТНОГО ПЕРЕГОННОГО ТОННЕЛЯ БОЛЬШОЙ КОЛЬЦЕВОЙ ЛИНИИ МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА ПОД ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СТАНЦИЕЙ «ПЕЧАТНИКИ»

Д. С. Конюхов, Д. С. Петунина, Е. Ю. Куликова,
АО «Мосинжпроект», НИТУ «МИСИС», Москва

Строительство объектов метрополитена в крупных городах сопровождается комплексом мероприятий по обеспечению сохранности и безопасной эксплуатации существующей застройки. Особенное внимание необходимо уделять участкам пересечений с особо-опасными, технически сложными и уникальными зданиями и сооружениями, памятниками истории, культуры и архитектуры, а также при строительстве на особо охраняемых территориях. В статье рассмотрен комплекс мероприятий по научно-техническому сопровождению и интерактивному управлению параметрами проходки двухпутного перегонного тоннеля Большой кольцевой линии Московского метрополитена под комплексом подземных сооружений, расположенных в технической зоне действующей станции «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии.

Строительство перегонного тоннеля от ст. «Печатники» до ст. «Нагатинский затон» БКЛ осуществлялось тоннелепроходческим механизированным комплексом (ТПМК) с активным грунтопригрузом забоя Herrenknecht TBM EPB 10690 с диаметром резанья 10,69 м.

Перегонные тоннели БКЛ под станцией «Печатники» проходятся на глубине 13,6 м в следующих инженерно-геологических условиях:

- сводовая часть – в юрских глинах твердой, прослоями полутвердой консистенции;
- средняя и нижняя части – в измайловских известняках средней прочности, с прослоями мергеля и глины, трещиноватых, прослоями разрушенных до щебня и муки, водоносных.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием грунтовых вод надъярского и измайловского водоносных горизонтов.

Оценка влияния строительства двухпутного перегонного тоннеля на сооружения ст. «Печатники» ЛДЛ и коллектор р. Нищенка выполнялась специализированной научной организацией с учетом технического состояния станции, ее конструктивных особенностей и деформаций, полученных как в процессе эксплуатации, так и в результате водопонижения при сооружении котлована ст. «Печатники» БКЛ.

Были проведены следующие мероприятия по научно-техническому сопровождению и интерактивному управлению параметрами проходки.

1. Верификация результатов численного моделирования программным комплексом «Z_Soil» методом конечных элементов, в объемной постановке.

2. Фиксация параметров проходки (давление пригруза, объем разработанного грунта, давление нагнетания и объем тампонажного раствора).

3. Организация автоматизированного мониторинга планово-высотного положения конструкций станции «Печатники» с периодичностью 1 раз в 3 часа.

4. Геодезические наблюдения за деформациями дневной поверхности.

5. Измерения по технологии радиоволновой геointроскопии межскважинного пространства (РВГИ) в зоне пересечения действующих и строящихся тоннельных сооружений.

В статье подробно рассмотрены методики и анализ результатов мониторингов и интерактивный контроль параметров проходки.

В результате была обеспечена конструктивная надежность и дальнейшая безопасная эксплуатация действующих сооружений ст. «Печатники» без применения дополнительных специальных методов строительства.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОБАВОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ НА СООРУЖЕНИЯ МЕТРОПОЛИТЕНА ОТ НАЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

А. П. Ледяев, А. А. Сокорнов, А. Н. Коньков, А. Л. Новиков, ФГБОУ ВО ПГУПС, Санкт-Петербург

В настоящее время в Санкт-Петербурге строительство большинства многоэтажных зданий осуществляется с устройством глубоких свайных фундаментов. В случаях, когда строительство ведется в охранной зоне метрополитена, это приводит к уменьшению расстояния до действующих подземных сооружений. Один из наиболее важных вопросов заключается в определении добавочного давления на подземные сооружения метрополитена от подошвы условных фундаментов (свайных

полей и грунтового массива в зоне влияния свай) зданий. Существуют аналитические методики определения добавочного давления на подземные сооружения, закрепленные в отечественной учебной и нормативной литературе.

Достоверность этих методик подтверждается многолетним опытом кафедры тоннелей и метрополитенов в области обследования и мониторинга технического состояния подземных сооружений метрополитена Санкт-Петербурга. Вместе с тем, в

ряде случаев результаты расчетов противоречили данным мониторинга изменений технического состояния тоннелей, что свидетельствует о необходимости корректировки и доработки аналитических методик. Авторы статьи выполнили оценку достоверности аналитических методик путем сопоставления их с результатами математического моделирования методом конечных элементов и обозначили направления дальнейших исследований.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ РАСХОДОВ ЭНЕРГИИ НА ДВИЖЕНИЕ ПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

А. А. Лянда, С. Ю. Козлов, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

В статье анализируются методы снижения расхода энергии на тягу поездов метрополитена. Авторами разработана математическая модель тяговой сети и програм-

мное обеспечение, с помощью которого выполнен анализ эффективности рекуперации энергии торможения и ее потребления соседними поездами, выполнено моделирова-

ние работы тяговой сети с накопителями энергии рекуперации, дана оценка снижения потерь в контактной сети при использовании биметаллических контактных рельсов.

ПРОГНОЗ АБРАЗИВНОСТИ ГРУНТОВ ПРИ ПЕРВИЧНОМ ИЗНОСЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ

С. В. Мазеин, А. С. Вознесенский, В. Прищепов,

Тоннельная ассоциация России, Москва

НИТУ «МИСиС», Москва

Измерение абразивности породы для оценок ресурса режущего инструмента механизированных щитовых комплексов и периодичности его замен становится все более актуальным для проектирования и

строительства тоннельных выработок большого сечения. Выполнен обзор типов износа режущего инструмента и соответствующих мероприятий в условиях абразивного грунта. Составлена универсальная классифи-

кация абразивности на основе лабораторных образцов скального и сыпучего грунта. Сформулированы направления исследований на абразивность грунтов применительно к геологии московского региона.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОХРАННОСТИ ЗДАНИЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ

Р. А. Мангушев, А. И. Осокин, Ф. Н. Калач, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург

В статье исследована применимость различных геотехнических методов для проведения инъекционного укрепления грунтов основания фундаментов исторических зданий с использованием компенсационного уплотнения грунтов для сохранения исторических зданий и памятников при освоении подземного пространства при транспортном строительстве. В рамках выполненных исследовательских работ определена возможность применения для дан-

ных целей цементных растворов и полигеля.

Важным условием обеспечения сохранности зданий-памятников и исторических зданий при подземном строительстве и выполнении геотехнических работ вблизи них является организация и проведение научно-технического сопровождения таких работ и постоянным контроллингом deformаций проводимым геотехническим мониторингом.

Анализ практического опыта подземного строительства в историческом центре

Санкт-Петербурга показывает, что выполнение превентивного усиления фундаментов существующих зданий, попадающих в зону влияния, является безусловным условием безопасности, надежности и успешной реализации проекта освоения подземного пространства. В таких условиях начало геотехнического мониторинга следует назначать заблаговременно, предпочтительно за два месяца до любых геотехнических или строительных работ.

РИСКИ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В МЕТРОСТРОЕНИИ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ (МОСКОВСКИЙ ОПЫТ)

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

Возросшие объемы и темпы строительства метрополитена в Москве обострили вопросы обеспечения безопасности при производстве работ и эксплуатационной надежности подземных сооружений. В статье приводится перечень основных рисков и факторы, провоцирующие их реализацию. Анализируются типичные для Москвы условия и формы проявления нештатных си-

туаций, в том числе аварий, на различных стадиях жизненного цикла сооружений метрополитена. Приводятся опытные данные и рекомендации по выполнению ремонтно-восстановительных работ для ликвидации последствий инцидентов, вызванных чрезмерными деформациями возводимых конструкций или прорывами водогрунтовой массы, обеспечению надежности тоннеля на

участке карстовой опасности. Дается информация о новых нормативных и методических документах, разработанных по заданиям Стройкомплекса Москвы, НОСТРОЙ и НОПРИЗ по различным вопросам подземного строительства, включая метростроение, руководствуясь которыми представляется возможным существенно снизить риски нештатных ситуаций.

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОБДЕЛОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ

А. Г. Протосеня, М. А. Карасев, Н. А. Беляков, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

В работе представлен подход по повышению достоверности прогноза развития напряженно-деформированного состояния (НДС) обделки подземных сооружений за счет ее представления в виде пространственной конструкции. Предложены пути совершенствования численных моделей прогноза НДС подземных сооружений сложной пространственной конфигурации. Указаны основные пути совершенствования численных моделей. Рассмотрены примеры расчета НДС тубинговой обделки перегонных тоннелей в различных постановках и представлены сравнение эпюр развития тангенциальных напряжений в спинки и ребрах тубингов. Представлены результаты расчетов НДС несущих конструкций станций метрополитена колонного типа, выполненных из чутунных элементов или сталежелезобетонных конструкций. На основании выполненного анализа полученных результатов численных расчетов сделаны выводы о рациональности использования представленного

в работе подхода при выполнении проектной и исследовательской деятельности.

На приведенных в публикации примерах показано, что развитие вычислительной техники, программных сред для подготовки численных моделей, нелинейных моделей деформирования сплошных сред, реализованных в современных программных решениях для выполнения конечно-элементного (или другого) анализа, уже достигло уровня, при котором уровень детализации расчетных моделей может быть в значительной степени повышен. Внедрение таких подходов при проектировании и расчете геотехнических систем и, в частности, при проектировании и расчете обделок подземных сооружений в пространственной постановке позволит повысить степень осведомленности инженеров или исследователей о механических процессах, протекающих в несущих конструкциях, а, следовательно, позволит принимать более осмысленные конструктивные и технологические решения.

ПОДХОД К РАСЧЕТУ АНКЕРОВ КОНТАКТНОГО ТИПА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

А. С. Саммаль, С. В. Анциферов, П. В. Деев, Нгуен Ван Конг, Тульский государственный университет, г. Тула

Предлагается новый подход к расчету анкеров контактного типа, устанавливаемых в тоннельных выработках круглого поперечного сечения, основанный на применении полученного авторами оригинального аналитического решения соответствующей плоской задачи теории упругости для бесконечной среды, ослабленной круговым отверстием, вблизи контура которого имеется произвольное количество жестких линейных включений (стрингеров), продольные оси которых ориентированы в радиальных направлениях.

Рассматриваются конкретные результаты моделирования влияния контактного анкера на напряженное состояние пород в окрестности выработки.

Разработанный метод расчета, основанный на соответствующем аналитическом решении плоской контактной задачи теории, открывает новые возможности при проекти-

ровании анкерной крепи, поскольку свободен от недостатков, присущих существовавшим ранее подходам. Особенность полученного решения заключается в том, что оно реализовано в виде итерационного процесса, в каждом приближении которого рассматривается круговое отверстие в весомой среде, а учет влияния жестких включений осуществляется путём введения дополнительных функций, представляемых в виде комплексных рядов, коэффициенты разложений которых на начальном этапе вычислений обнуляются, а затем уточняются на основе предыдущих итераций по результатам проверки граничных условий. При этом точность вычислений контролируется на каждом этапе, и расчет продолжается до тех пор, пока найденные в соответствующих точках контуров отверстия и включений напряжения и смещения в двух смежных итерациях не будут совпадать (с заданной точностью).

ОПЫТ СООРУЖЕНИЯ ЭСКАЛАТОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНА В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

А. Ю. Старков, А. Н. Ревва, Е. И. Гигиняк, ОАО «Метрострой», Санкт-Петербург

В начале XXI века встал вопрос о необходимости разработать принципиально новый способ сооружения эскалаторных тоннелей в условиях плотной городской застройки с целью сохранения исторической части Санкт-Петербурга. Данный способ должен был выполнять следующие цели: минимизация осадок земной поверхности; ведение проходческих работ без сноса зданий; размещение строительной площадки в черте плот-

ной городской застройки.

Ранее эскалаторные тоннели при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена сооружались с применением замораживания слабых обводненных четвертичных слоев грунтов, которое выдавало сильные подвижки грунта на протяжении проходческих работ и в течение 1–2 лет после их окончания. Осадки при этом достигали 450 мм, что не позволяло вести работы в условиях плотной городской застройки.

Совместно со специалистами Herrenknecht AG (Германия) был разработан механизированный тоннелепроходческий комплекс с грунтопригрузом, сооружающий тоннель под углом 30 градусов к земной поверхности.

Основная цель разработки была успешно достигнута: построен и запущен в эксплуатацию станционный комплекс «Адмиралтейская». Его эскалаторный тоннель сооружался в непосредственной близости с архитектурными памятниками, находящимися под охраной ЮНЕСКО. Без данного способа проходки подземная станция этого комплекса являлась «призраком» долгие 14 лет.

Петербургские метростроители первыми в мире разработали технологию сооружения наклонных тоннелей с использованием механизированного тоннелепроходческого комплекса с активным пригрузом забоя. Каждый подобный положительный результат даёт толчок к раз-

витию метростроения и освоению подземного пространства в целом.

Сейчас, когда эскалаторный тоннель уже построен, можно с уверенностью сказать, что использование выбранной технологии полностью себя оправдало. ТПМК справился со своей задачей – построена одна из самых сложных в практике петербургских метростроителей выработок метрополитена.

В качестве лучшего подтверждения положительного результата примененной технологии служит успешная эксплуатация станционного комплекса «Адмиралтейская» с момента открытия по сегодняшний день. А также успешное применение этой технологии с применением ТПМК «Аврора» при строительстве очередных эскалаторных тоннелей: станции «Спасская» в 2013 г. и станции «Горный институт» в 2020 г.

ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЯ № 4 НА УЧАСТКЕ ТУАПСЕ – АДЛЕР СЕВЕРО-КАВКАЗСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. Г. Штыров, ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

В последние годы на Черноморском побережье России, и, в частности, в г. Сочи, осуществляется широкая программа транспортного строительства, связанная с развитием сети автомобильных и железных дорог. Во всех этих областях транспортного и городского строительства важное место занимает сооружение подземных объектов: транспортных, пешеходных и коллекторных тоннелей.

В статье рассматривается оценка инженерно-геологических условий для обоснования проектных решений по условиям проходки тоннеля № 4, размещения сооружений в плане и по глубине, назначения типов временного крепления и постоянной обделки, а также возможности прогноза развития и интенсивности опасных геологических процессов и их влияния на условия строительства и эксплуатацию сооружений.

Обобщая результаты проведенных буровых работ, геологической и инженерно-геологической съемок, структурно-тектонических, гидрологических и гидрогеологических исследований различного масштаба, и на основании обработки всей имеющейся геологической информации были изучены все необходимые для проектирования инженерно-геологические условия по трассе тоннеля и на прилегающей территории.

Таким образом, суммируя и анализируя полученные результаты, можно сделать вывод: основные научные и практические результаты выполненных ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» инженерно-геологических исследований, позволили принять принципиальные проектные решения, которые значительно снизили риски строительства тоннеля в сложных горно-геологических условиях.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА

Д. В. Яковлев, Б. Н. Севастьянов, Ю. С. Исаев, А. В. Бондарев, С. Д. Крузин,

ООО «Институт горной геомеханики и геофизики – Межотраслевой научный центр ГЕОМЕХ (МНЦ ГЕОМЕХ)», Санкт-Петербург

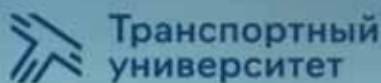
ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

В ходе исследований получены данные по сейсмическому воздействию на устойчивость кровли камер и целиков от буровзрывных работ (БВР), использованные для оптимизации их параметров, с целью обеспечения работы конструктивных элементов при камерно-столбовой системе разработки. Проведен сравнительный анализ скоростей смещений, полученных при размещении сейсмоприемников в ближней (в источнике) и дальней зонах взрыва, с це-

лью прогноза смещений пород в зоне взрыва, при контроле фактических смещений на значительном удалении от взрыва. Приведены результаты комплексных экспериментальных исследований, которые позволили обосновать требования по сейсмобезопасным параметрам БВР в условиях подземной разработки месторождения гипса, положенные в основу локального нормативного документа по безопасному ведению горных работ.

Для более подробного ознакомления с материалами сборника читатели могут обратиться к редактору Михаилу Олеговичу Лебедеву, заместителю генерального директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», mlebedev@imgt.ru.

Sino-Russian Forum of Young Researchers in the Field of Geotechnics and Underground Structures



КИТАЙСКО-РОССИЙСКИЙ ФОРУМ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ В ОБЛАСТИ ГЕОТЕХНИКИ И ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В последние годы развитие Китая и России в области геотехники и подземного строительства достигло значительных успехов. В контексте проекта «Один пояс и один путь» и Китайско-Российского стратегического партнерства, двусторонние академические обмены между Китаем и Россией могут наилучшим образом продемонстрировать результаты исследований обеих стран.

В целях укрепления сотрудничества между Китаем и Россией и повышения технического уровня в области геотехнического и подземного строительства 14 и 15 сентября 2022 г. состоялся Первый Китайско-Российский форум молодых ученых в области геотехники и подземного строительства.

Проведение мероприятия было инициировано и организовано в режиме онлайн Северо-Восточным университетом КНР и Тоннельной ассоциацией России.

Задачей онлайн-форума является объединение большого количества молодых инженеров и ученых в области геотехники и подземного строительства. Основной целью этой встречи явился обмен опытом в данных областях, демонстрация результатов исследований двух стран, содействие технологическому развитию подземного инженерного искусства.

С приветственными словами к участникам форума обратились: А. А. Климов и Т. В. Шепитько (Российский университет транспорта РУТ (МИИТ)), Тан Жонг (председатель филиала тоннельных и подземных работ Китайского научного общества гражданского строительства), И. Я. Дорман (член правления Тоннельной ассоциации России), Ли Чжаннань и Чжао Вэнь (Северо-Восточный университет КНР).

На английском языке, в равном представительстве российской и китайской сторон, было продемонстрировано 36 презентаций по следующим темам:

- Тоннели и подземное строительство;
- Проектирование глубоких котлованов и оснований;
- Строительство тоннелей щитовым способом;
- Применение Big Data и искусственного интеллекта в подземном строительстве;
- Новые методы строительства и новые технологии для развития городского подземного пространства.

Тоннельная ассоциация России и редакция журнала «Метро и тоннели» выражают благодарность участникам форума из восьми российских организаций и 12-ти китайских университетов, модераторам сессий Наталье Телятниковой, Артему Попонину, Игорю Дорману, Лю Цзообао, Юй Хайтао, Чжан Вэньцзюню и Ван Шуину.

Надеемся, что данный форум продемонстрировал высокий технический уровень молодых ученых Китая и России и дал начало новым совместным исследованиям и проектам в области геотехники и подземного строительства.

Участники форума выразили единодушное мнение, чтобы подобные мероприятия стали ежегодными. В ближайших номерах журнала «Метро и тоннели» будут публиковаться доклады участников форума.