

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

## Председатель редакционной коллегии

К. Н. Матвеев, председатель  
правления ТАР

## Зам. председателя редакционной коллегии

И. Я. Дорман, доктор техн. наук

## Ответственный секретарь

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

## Редакционная коллегия

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

## Тоннельная ассоциация России

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

## Издатель

ООО «Метро и тоннели»

тел./факс: +7 (495) 981-80-71  
127521, Москва,

ул. Октябрьская, д. 80, стр. 3,  
оф. 4206

e-mail: metrotunnels@gmail.com

## Генеральный директор

О. С. Власов

Журнал зарегистрирован  
Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов  
журнала только с письменного  
разрешения издательства  
© ООО «Метро и тоннели», 2022

### Актуальное интервью

Метрострой Северной столицы –  
перезапуск петербургского метростроения **2**  
В. А. Шмидт

### В Тоннельной ассоциации России

Краткий обзор работ конкурса ТАР  
«На лучшее применение технологий при строительстве  
тоннелей и подземных сооружений» за 2021 год **4**  
С. В. Мазеин, И. А. Смотров

### Юбилеяры отрасли

Кафедре мостов, тоннелей  
и строительных конструкций МАДИ 90 лет **8**

### Технологии строительства

Напряженно-деформированное состояние  
защитного экрана из труб и базовых элементов  
в подземном строительстве **9**  
Н. М. Прибыльская, В. А. Гречухин

Риски при устройстве котлованов  
для строительства Московского метрополитена **13**  
А. А. Долев

### Исследования

Верификация расчетных параметров проходки  
по данным геотехнического мониторинга  
окружающей застройки **17**  
Н. Ф. Бабушкин, И. О. Исаев, Н. А. Филаретов, В. В. Шишкина

### Проектирование

Проектирование станции «Сосновая Поляна»  
под канализационным коллектором в Санкт-Петербурге **20**  
И. Я. Дорман, В. Р. Власюк, Д. Н. Слизов, Д. А. Павловский

Влияние строительства станционного комплекса  
«Сосновая Поляна» в Санкт-Петербурге  
на канализационный коллектор **25**  
А. А. Стародумов, Т. А. Марченков, А. В. Давыдов, А. Л. Левитин

Перспектива интеграции системы водопонижения  
в ограждающие конструкции котлована  
из «стены в грунте» траншейного типа **32**  
В. Ю. Коробков, Р. Р. Искендеров,  
В. С. Зубарев, Ю. В. Филатов, И. М. Халиуллин

Автоматизация расчетов при проектировании  
систем тягового энергоснабжения и систем АТДП **35**  
С. Ю. Козлов, А. А. Лянда, Д. А. Пентегов, И. А. Сиваков

### Наша история

Уникальный опыт метростроевцев **39**

### Книжная полка

Оценка и учет рисков при освоении  
подземного пространства в городе Москве:  
справочно-методическое пособие **42**  
В. В. Космин

Ценное пополнение книжной полки тоннелестроителей **43**  
В. В. Космин



# МЕТРОСТРОЙ СЕВЕРНОЙ СТОЛИЦЫ – ПЕРЕЗАПУСК ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОСТРОЕНИЯ



В прошлом году под эгидой правительства Санкт-Петербурга была создана новая компания по строительству метро в регионе – АО «Метрострой Северной столицы». С 1 октября 2021 г. постановлением Правительства РФ предприятие получило статус единственного исполнителя работ, связанных с проектированием, строительством и реконструкцией объектов метрополитена в городе. Планы развития подземки Северной столицы амбициозны: за 24 года планируется увеличить количество станций с 72-х до 122-х. Сможет ли новая компания справиться с растущими объемами строительства, хватит ли ей мощности и обладает ли она необходимым производственным и техническим потенциалом? На эти и другие вопросы отвечает генеральный директор АО «Метрострой Северной столицы» (АО МССС) Владимир Арминович Шмидт.

**– Метрострой Северной столицы – молодая компания, кем и для реализации каких задач она создавалась?**

– АО МССС создавалось правительством Санкт-Петербурга совместно с Группой ВТБ с целью сохранения и дальнейшего развития отрасли метростроения в городе. Предыдущий подрядчик ОАО «Метрострой» было признано в августе 2021 г. банкротом, и на первом этапе нашей главной задачей стало спасение уникального трудового коллектива. Сегодня, когда в штат нашей компании перешли практически все квалифицированные специ-

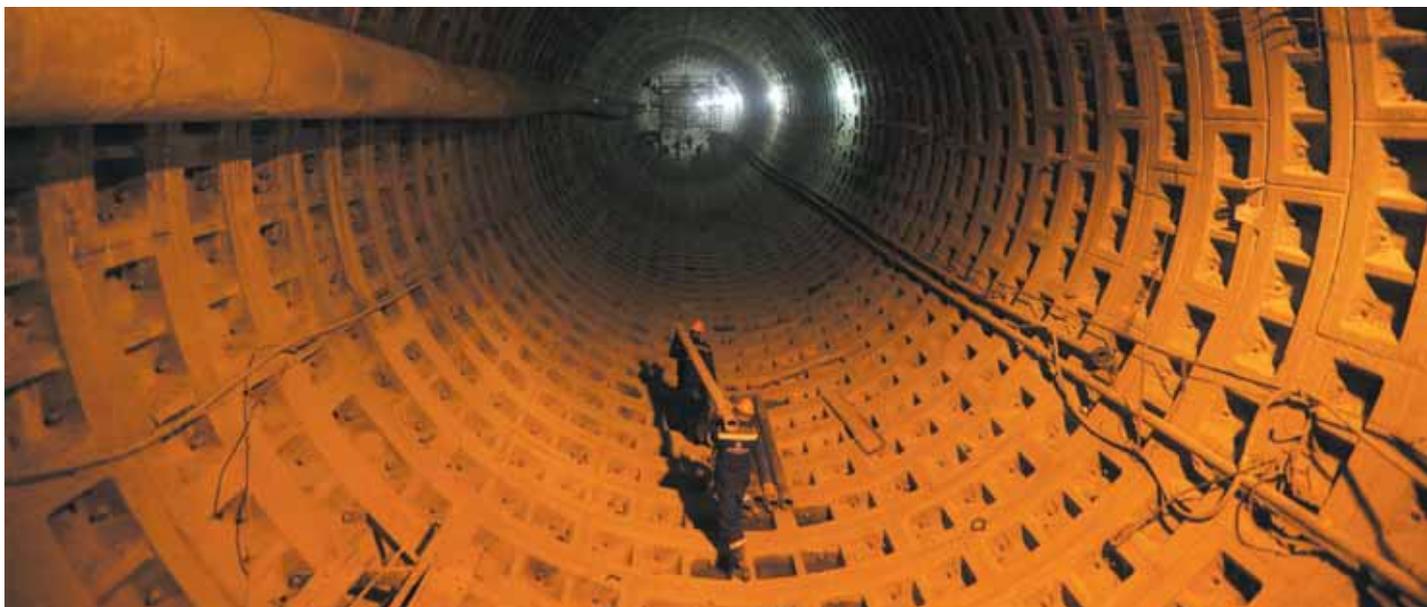
алисты, мы начинаем реализацию принятой городом Программы по метростроению. Первый важный этап – строительство трех станций метро к 2024 г., а именно «Горный институт», «Казакская» и «Путиловская».

**– Чем сейчас занимается компания, набрала ли она необходимую мощность и в какой срок планирует приступить к выполнению строительных работ?**

– АО МССС приняло в штат более 3200 квалифицированных сотрудников ОАО «Метрострой», которые являются главным нашим

активом для успешного продолжения дела метростроения в Петербурге.

Однако, в связи с юным возрастом компании, она пока не имеет в активе собственных производственных мощностей, поэтому в период становления мы вынуждены арендовать по согласованию с конкурсным управляющим производственные площадки ОАО «Метрострой», в том числе завод ЖБИ и сопряженные с ним промышленные объекты, управление механизации, группу строительных управлений и инженерные службы. То же самое касается необходимой нам техники.





Проходка левого тоннеля ст. «Юго-Западная», Санкт-Петербург

Однако уже сегодня мы занимаемся созданием собственной производственной базы и реализуем сформированные планы по закупке оборудования.

АО МССС тщательно и заблаговременно подготовилось к началу работ, что позволило нам приступить к ним сразу после подписания государственного контракта.

**– Намерена ли компания использовать оборудование и специалистов Метростроя Санкт-Петербурга? Не произойдет ли в 2022 г. застой в выполнении строительных или проектных работ в Санкт-Петербурге в связи с оргвопросами по переходу специалистов и техники?**

– Первоочередная задача, которая стояла перед АО МССС – сохранение отрасли метроостроения в Петербурге, а сделать это без уникального трудового коллектива, который работал в ОАО «Метрострой», невозможно. Мы предоставили всем квалифицированным специалистам рабочие места в новой компании, и хотим отметить, что прием основной массы сотрудников в штат АО МССС был осуществлен всего за две недели. Такие рекордные темпы оказались возможными только благодаря тщательной подготовке.

Сегодня у нас есть необходимая база – профессиональная и техническая – для того, чтобы работы по метроостроению велись в тех объемах и темпе, которые предусмотрены Программой развития метрополитена в Петербурге.

**– Будете ли вы проводить реновацию оборудования? Планирует ли компания, с целью большей механизации про-**



Монтаж щита ст. «Юго-Западная», Санкт-Петербург

**цесса, перейти на щиты для проходки тоннелей большего диаметра, например 13-метровые?**

– Сегодня мы арендуем оборудование, и впоследствии, при конкурсном производстве, планируем выкупать необходимую технику. Но акцент мы все же делаем на закупках собственного оснащения. Перечень приобретаемой техники будет уточняться и дополняться в соответствии с графиком финансирования объектов по годам строительства.

При этом в наших планах мы опираемся на конкретные технико-экономические показатели проектных решений, и если они будут предусматривать использование щитов

большого диаметра, то, безусловно, будем решать вопрос об их приобретении.

**– Когда, по вашему мнению, можно ожидать прорыва в строительстве метро в Санкт-Петербурге?**

– Сегодня мы точно можем говорить о начале новой страницы или даже эпохи для петербургского метроостроения. Правительство Петербурга сделало все для того, чтобы сохранить отрасль и рабочие места. История метроостроения не будет забыта или перечеркнута, в своей работе мы опираемся на прежний опыт, но, безусловно, будем дополнять его. И это принципиальная позиция.



# КРАТКИЙ ОБЗОР РАБОТ КОНКУРСА ТАР «НА ЛУЧШЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ» ЗА 2021 ГОД

С. В. Мазеин, д. т. н., И. А. Смотров, Тоннельная ассоциация России

29 декабря 2021 г. в Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России состоялось заседание жюри конкурса «На лучшее применение передовых технологий при строительстве тоннелей и подземных сооружений – 2021».

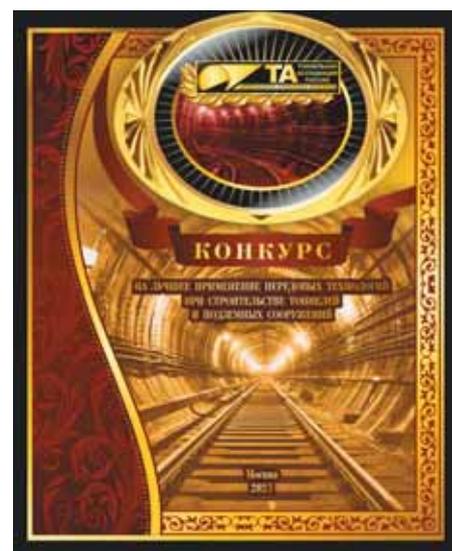
Основные цели конкурса – привлечение к участию в модернизации отрасли и повышение заинтересованности организаций – членов Тоннельной ассоциации России в новых эффективных технологиях подземного строительства. В процессе проведения конкурса были выбраны наиболее передовые организации, применяющие инновационные технологии и новые решения научно-технических проблем в проектных разработках.

Организациями – членами Тоннельной ассоциации России, такими как АО «Мосинжпроект», ООО «Институт «Мосинжпроект», АО «Моспромпроект», ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», АО «НЬЮ-ГРАУНД», было представлено на конкурс пять работ.

В номинации «Технологии при проходке тоннелей и строительстве подземных сооружений закрытым способом» лауреатом конкурса признано ООО «Институт «Мосинжпроект» (Москва), которое представило работу «Математическое моделирование тоннелепроходческих работ и расчетный параметр, влияющий на оседание земной поверхности». Технология применялась при разработке оценки влияния на окружающую застройку от строительства перегонных тоннелей Кожуховской, Большой кольцевой линий, продлений Калининско-Солнцевской и Сокольнической линий. Новизна технологии моделирования тоннельной проходки заключается в определе-

нии параметров, не представленных в нормативной документации и справочной литературе. Заявленный метод математического моделирования имеет выгодные преимущества по сравнению с аналитическими методами расчета оседания дневной поверхности и приводит к снижению затрат на геотехнический мониторинг и защитные мероприятия вплоть до их полной отмены [1].

В номинации «Технологии при проходке тоннелей и строительстве подземных сооружений открытым способом» лауреатом конкурса признано АО «Моспромпроект» (Москва), которое представило работу «Интеграция системы водопонижения в ограждающие конструкции котлована из «стены в грунте» траншейного типа». Объект применения – строительство притоннельного сооружения (УТВ) на перегоне ст. «Славянский мир» – ст. «Мамыри» Коммунарской линии Московского метро. Ввиду стесненности строительной площадки водопонижительные скважины Вп-2 и Вп-3 размещаются в предварительно установленные кондукторы диаметром 325 мм внутри «стены в грунте». Новое технологическое решение заключается в размещении скважин водопонижения в конструкции «стены в грунте» траншейного типа, что гораздо выгоднее размещения по традиционной схеме (снаружи или изнутри котлована) [2], потому что приводит к удешевлению строительно-монтажных работ и уменьшению сроков



строительства. При этом существует возможность применять данную схему в стесненных условиях строительной площадки, не создавая помех при сооружении основных конструкций в варианте размещения скважин внутри котлована. Не исключается и применение данной схемы в ограждающих конструкциях из буронабивных свай.

В номинации «Разработки, ведущие к снижению стоимости строительства подземных объектов» лауреатом конкурса признано ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» (Санкт-Петербург). Органи-

Рис. 1. Схема поперечного сечения двухпутного тоннеля метро

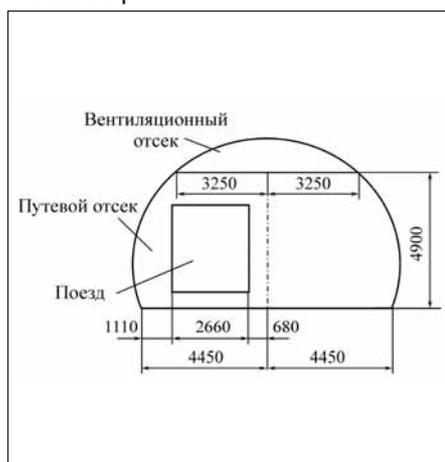


Рис. 2. Схема геофизических измерений и отслеживания проходки ТПМК



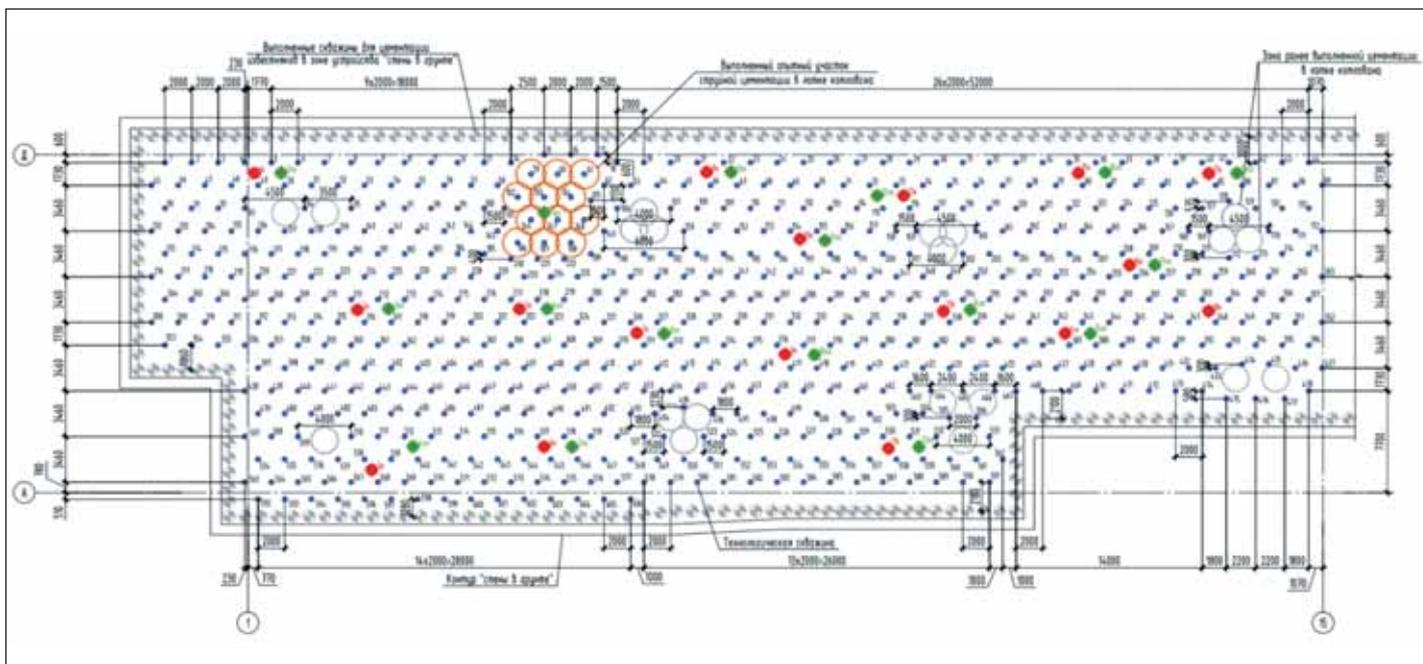


Рис. 3. Схема цементации дна котлована

зация представила работу «Способ вентиляции двухпутных тоннелей на участке Кожуховской линии Московского метрополитена», которая начала внедряться с 2016 г. Четыре спроектированных и построенных объекта Некрасовской линии Московского метро пущены в эксплуатацию в марте 2020 г. Способ предусматривает размещение в объеме станционного комплекса технологического вентиляционного блока, обеспечивающего вентиляцию – как самого станционного комплекса, так и перегонных тоннелей [3]. Технологический вентиляционный блок имеет боковое примыкание к основному объему станции, блок двухэтажный, сооружается в обособленных ограждающих конструкциях. Конструкция перегонных тоннелей представляет собой сборную двухпутную обделку кругового очертания, выполненную из железобетонных блоков. В верхней части тоннеля на всем протяжении размещается вентиляционный канал, примыкающий в одном из торцов станции к венткамере тоннельной вентиляции (рис. 1). Такое решение позволяет снизить стоимость строительства объектов метрополитена и обеспечивает более высокий уровень безопасности в случае возникновения аварийных ситуаций. Оптимизируются строительные объемы и сроки производства работ ввиду отсутствия притоннельных сооружений по длине перегонного тоннеля.

**В номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений» лауреатом конкурса признано АО «Мосинжпроект» (Москва)**, работа которого называется «Интерактивное управление технологическими параметрами проходки двухпутного перегонного тоннеля Большой кольцевой линии под действующей станцией «Печатники» Московского метрополитена» [4]. Объекты применения – станция «Печатники» Люблин-

ско-Дмитровской линии (ЛДЛ) Московского метрополитена и двухпутный перегонный тоннель от ст. «Печатники» до ст. «Нагатинский затон» Большой кольцевой линии (рис. 2). Интерактивное управление проходкой двухпутного перегонного тоннеля позволяет исключить конструктивные мероприятия по усилению оснований, фундаментов и строительных конструкций существующих зданий и сооружений за счет оптимизации технологических параметров работы ТПМК и управления ими в режиме реального времени на основе данных геотехнического мониторинга. Путем реализации заявленной технологии была достигнута экономия бюджетных средств в размере 530 млн руб. за счет исключения конструктивных мероприятий по обеспечению сохранности ст. «Печатники» ЛДЛ.

**В номинации «Работы по стабилизации неустойчивых грунтов, устройству оснований и укреплению фундаментов» лауреатом конкурса признано АО «НЬЮ-ГРАУНД» (г. Пермь)**, которое представило работу «Технология струйной цементации известняков в днище строящегося котлована ст. «Терехово» Московского метрополитена» (рис. 3). Новизна струйной технологии цементации – производство работ в сильно обводненных скальных грунтах, с большим коэффициентом фильтрации [5]. Технология показала экономическую эффективность, заключающуюся в более коротких сроках выполнения работ и в экономии расхода цемента по сравнению с технологией классической цементации. Предложенная технология позволила вести работы в котловане без организации мероприятий, связанных с поступлением в него подземных вод, и обеспечить требуемую эксплуатационную надежность подземного сооружения. Получаемый грунтоцементный композит обладает достаточно высокими прочно-

стными и низкими фильтрационными характеристиками, позволяющими использовать его в конструкции горизонтальной противофильтрационной завесы.

Поздравляем лауреатов конкурса с высокой оценкой их труда, направленного на развитие научно-технического прогресса в передовых технологиях строительства тоннелей и подземных сооружений! Хотелось бы пожелать всем членам Тоннельной ассоциации более активного участия в конкурсе, результаты которого достаточно объективно характеризуют состояние новых научно-технических разработок в тоннельных организациях.

#### Список литературы

1. Тер-Мартirosян А. З., Бабушкин Н. Ф., Исаев И. О., Шишкина В. В. Определение расчетного коэффициента перебора грунта путем анализа данных мониторинга // *Геотехника*. – 2020. Том XII. № 1. С. 6–14.
2. ВСН 127-91 *Нормы по проектированию и производству работ по искусственному понижению уровня подземных вод при сооружении тоннелей и метрополитенов*.
3. Савенков Е. А., Кастаньеда Негальскалов В., Куров Р. А. Обоснование схемы вентиляции двухпутных тоннелей метрополитенов без строительства перегонных сооружений // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2019. – № 56.
4. Конюхов Д. С. Интерактивное управление технологическими параметрами проходки двухпутного перегонного тоннеля метрополитена // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2022. – № 5.
5. Зуев С. С. Опыт применения струйной цементации для устройства противофильтрационных завес в скальных грунтах // *Метро и тоннели*. – 2021. № 3. С. 30–33.



**2 января 2022 г. свой 50-летний юбилей отметил вице-мэр Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства, заместитель председателя правления Тоннельной ассоциации России Андрей Юрьевич Бочкарёв.**

Андрей Юрьевич родился и вырос в Тюмени, в семье потомственных строителей. В 1994 г. с отличием закончил Тюменский инженерно-строительный институт по специальности «Промышленное и гражданское строительство», а затем в Москве прошёл курс обучения в аспирантуре Государственного института управления по кафедрам управление в строительстве и управление проектами. Кандидат экономических наук.

За плечами Андрея Юрьевича огромный опыт работы на российских и зарубежных строительных площадках, участие в реализации многих проектов промышленного и гражданского строительства, которыми юбиляр может по праву гордиться.

С декабря 2010 г. Андрей Юрьевич вошёл в состав правительства города Москвы, где до января 2020 г. руководил Департаментом строительства, а затем был назначен на должность заместителя мэра Москвы по вопросам градостроительной политики и строительства.

Годы работы Андрея Юрьевича в правительстве Москвы, несмотря на сложные экономические и политические условия, ознаменовались реализацией крупных проектов развития транспортной инфраструктуры города. Построены и реконструированы десятки километров автомагистралей и железных дорог, успешно реализуется масштабная программа развития Московского метрополитена, где следует особенно отметить сооружение Большой кольцевой линии (БКЛ), строительство которой планируется завершить к концу текущего года. Это – крупнейший в мире проект в области метростроения, протяженностью более 70 км с 31 станцией и тремя электродепо. Таким образом, БКЛ может стать самой масштабной кольцевой линией метро в мире!

От всей души поздравляем Андрея Юрьевича с юбилеем! Это большой профессионал, опытный и мудрый руководитель, надёжный коллега. Благодаря его знаниям и опыту в городе запущены и реализуются многие новые проекты, которые направлены на улучшение жизни москвичей. Отдельное спасибо ему за то внимание, которое он уделяет в своей деятельности вопросам комплексного освоения подземного пространства города.

Желаем юбиляру крепкого здоровья и долгих лет плодотворной жизни, успешной реализации намеченных планов, счастья и благополучия!

*Правление Тоннельной ассоциации России*



**26 февраля 2022 г. Первому заместителю председателя правления – руководителю Исполнительной дирекции Тоннельной ассоциации России Александру Борисовичу Лебедевскому исполнилось 70 лет. Большая часть из них связана со строительством – благородной сферой созидательного труда.**

Профессиональную деятельность Александр Борисович начал ещё во время обучения в институте – неоднократно выезжал в составе студенческих строительных отрядов (ССО) на стройки производственных и транспортных объектов СССР, в том числе в качестве командира отрядов, главного инженера районного ССО МГК ВЛКСМ, где проявил себя хорошим организатором строительного производства.

После окончания института, с 1975 по 1981 г., Александр Борисович работал в аппарате Стройбанка СССР в подразделениях, занимающихся вопросами финансирования и кредитования подрядных организаций.

Целых 28 лет юбиляр занимал руководящие должности в организациях, подведомственных строительному комплексу г. Москвы – Инпредстрой, Управление строительства Главмосстроя, Трест «Мосстрой-7» и др. В эти годы с его участием построены многочисленные объекты жилищно-гражданского назначения г. Москвы, а также объекты, относящиеся к ведению Управления делами Совета Министров СССР и Министерства иностранных дел.

С 2009 по 2016 г. Александр Борисович работал в ГУП «Московский метрополитен» в должности Первого заместителя начальника Дирекции строящегося метрополитена, где активно участвовал в формировании перспективного плана развития Московского метрополитена на 2011–2020 гг., организации строительства и вводе в эксплуатацию новых линий и объектов инфраструктуры метрополитена. За это время при его непосредственном участии введено в эксплуатацию более 40 станций метрополитена и пять электродепо, в том числе участки Арбатско-Покровской линии от ст. «Строгино» до ст. «Митино» и Люблинско-Дмитровской линии от ст. «Трубная» до ст. «Марьяна Роща».

В 2018 г. А. Б. Лебедев был избран Первым заместителем председателя правления Тоннельной ассоциации России – руководителем Исполнительной дирекции. В 2020 г. Александр Борисович удостоен звания «Заслуженный строитель г. Москвы». В настоящее время в сфере его внимания находятся вопросы, связанные с формированием нормативно-технической базы подземного строительства, с обеспечением подземного строительства высококвалифицированными кадрами, с распространением среди организаций России современного передового опыта строительства. Особое внимание уделяется вопросам обеспечения качества сооружения подземных объектов, в том числе путем организации постоянно действующего научно-технического сопровождения на всех этапах строительного цикла.

В день семидесятилетия мы хотим поблагодарить Александра Борисовича – высококого профессионала, человека с бесценным опытом и заслугами перед городом – за преданность любимому делу, за его нелёгкий и благородный труд, терпение, мужество, созидательную энергию и сильный характер.

Чуткий руководитель, талантливый организатор, интересный собеседник, который может поддержать в трудную минуту, направить в нужном направлении и искренне порадоваться успехам коллектива – всё это можно сказать об Александре Борисовиче.

Желаем в этот юбилей доброго здоровья, долгих лет жизни, прекрасного настроения и благополучия! Пусть все задуманные планы осуществляются, а преданный коллектив приложит все усилия, чтобы любые задуманные идеи осуществились! Пусть в жизни всегда будет крепкий фундамент, построенный на счастье, любви, верности и взаимопонимании!

*Коллектив Тоннельной ассоциации России*

# КАФЕДРЕ МОСТОВ, ТОННЕЛЕЙ И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МАДИ 90 ЛЕТ

**В 2022 г. исполняется 90 лет кафедре мостов, тоннелей и строительных конструкций Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).**

Основателем и руководителем кафедры вплоть до 1973 г. был известный педагог и ученый-мостовик, д. т. н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Е. Е. Гибшман.

После него кафедрой заведовали проф. М. Е. Гибшман, доц. Н. Н. Глинка, проф. П. М. Саламахин, проф. А. А. Потапкин, проф. Л. В. Маковский. В настоящее время кафедру возглавляет проф. В. Д. Агеев.

Тоннельное направление на кафедре в разные годы вели проф. В. П. Волков, доц. К. А. Вахуркин, доц. С. В. Чеботарев, доц. С. О. Зеге, доц. Е. В. Щекудов, доц. Е. Н. Петрова, ст. преп. А. В. Лушников.

В настоящее время тоннельные дисциплины для студентов специалитета, бакалавриата и магистратуры преподают проф. Л. В. Маковский, доц. В. В. Кравченко, ст. преп. Н. А. Сула, асс. А. О. Боев. Имеются в виду такие дисциплины как «Проектирование автомобильных и городских тоннелей», «Строительство автомобильных и городских тоннелей», «Строительство автотранспортных тоннелей в сложных условиях», «Эксплуатация и реконструкция мостов и тоннелей», «Основы надежности мостов и тоннелей», «Автоматизация проектирования мостов и тоннелей».

В учебном процессе также находят отражение инновационные направления: «Оценка степени риска» и «Технологии информационного моделирования (БИМ)». Студенты выполняют курсовые проекты и работы, ежегодно около 20 дипломников готовят выпускные квалификационные работы по тоннельной тематике, а по окончании университета – работают в профильных тоннельных организациях.

Преподавателями кафедры написаны базовые учебники и учебные пособия по всем разделам тоннельных дисциплин: «Проектирование автомобильных и городских тоннелей», «Строительство автомобильных и городских тоннелей», «Городские подземные транспортные сооружения», «Строительство автотранспортных тоннелей в сложных условиях», «Подводные транспортные тоннели из опускных секций», «Автомобильные и городские тоннели России» и др. Кроме того опубликованы монографии и многочисленные статьи в научных журналах.

Научно-исследовательская работа в области тоннелестроения и городского подземного строительства ведется в рамках госбюджетных и хоздоговорных работ в тесном сотрудничестве с научно-исследовательскими, проектными и производственными организациями и включает разработку научных и методических основ проектирования и строительства тоннелей и городских подземных сооружений с минимальными нарушениями окружающей среды.

Проводятся обобщение и анализ мирового опыта тоннелестроения, теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию конструкций и методов расчета тоннельных обделок, проходки тоннелей с применением опережающих крепей, сооружению подводных тоннелей методом опускных секций, рациональному использованию городского подземного пространства, экологической безопасности подземного строительства, анализу аварийных ситуаций в тоннелестроении.

Представляют интерес результаты проводимых в последние годы исследований по

применению компенсационного нагнетания для защиты наземных сооружений при проходке тоннелей, по взаимному влиянию двух параллельных тоннелей, по совершенствованию технологии продавливания и др.

Исследования проводятся с использованием аналитических методов механики подземных сооружений и численных методов математического моделирования на основе программных комплексов «PLAXIS – 3D TUNNEL» «MIDAS», «Sofistic» и др.

На основе результатов выполненных исследований разработаны рекомендации практического характера для использования при проектировании, строительстве и эксплуатации тоннелей и других подземных сооружений. Многие рекомендации вошли в федеральные, отраслевые и городские нормативные документы.

Некоторые исследования положены в основу кандидатских диссертаций по тоннельной тематике. Всего защитили диссертации 18 аспирантов, в том числе обучавшиеся на кафедре представители Колумбии, Египта, Сирии, Ирана и Вьетнама. Сейчас на кафедре работают над диссертациями пять аспирантов-тоннельщиков.

Кафедра плодотворно сотрудничает с рядом проектных, производственных и научно-исследовательских организаций, а также с родственными кафедрами вузов (Мосинжпроект, Метрогипротранс, Моспроект-3, АО «ЦНИИС», АО «НИЦ ТА», РУТ (МИИТ), СибАДИ, МИСИС и др.).

Преподаватели кафедры Л. В. Маковский, доц. В. В. Кравченко и ст. преп. Н. А. Сула являются членами Тоннельной ассоциации России и принимают участие в семинарах, симпозиумах, совещаниях, выставках и конкурсах, публикуют статьи в журнале «Метро и тоннели». Совместно с Тоннельной ассоциацией России была издана монография «Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов», которая переведена на английский язык.

Дальнейшее развитие тоннельного направления на кафедре предусматривает организацию целевой подготовки инженеров по заказам производства с совершенствованием материальной учебно-лабораторной базы, с более широким внедрением в учебный процесс инновационных технологий, с подготовкой новой учебной и методической литературы, с увеличением объемов научных исследований в области тоннелестроения.



# НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНОГО ЭКРАНА ИЗ ТРУБ И БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

## STRESS-STRAIN STATE OF A PROTECTIVE SHIELD MADE OF PIPES AND BASIC ELEMENTS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION

Н. М. Прибыльская, аспирант, В. А. Гречухин, к. т. н., доц., Белорусский национальный технический университет, г. Минск

N. M. Pribilskaya, V. A. Grechuhin, Belarusian National Technical University, Minsk

Рассмотрены вопросы строительства подземных сооружений в рыхлых грунтах, в частности тоннелей и подземных переходов под действующими железными и автомобильными дорогами закрытым способом. Для обеспечения бесперебойного движения над сооружениями необходимо исключить возможность осадки грунта, которая может возникнуть в процессе строительства. Для этого применяют металлические защитные экраны. Предложено решение, техническим результатом которого является повышение устойчивости конструкции экрана к деформациям, что облегчает сооружение защитного экрана и позволяет увеличить эксплуатационные нагрузки, действующие на него. Указанный результат достигается за счет использования при продавливании базовых элементов конструкции защитного экрана. В расчете, проведенном с использованием программного продукта SolidWorks, произведена проверка напряженно-деформированного состояния, предложенного МЗЭ после экскавации внутри него грунта на глубину одной заходки. Максимальное вертикальное перемещение, которому подвержены отдельные части конструкции МЗЭ, составляет  $\Delta r = 3,0$  мм, что соответствует нормативным требованиям в части организации непрерывного движения поездов при проведении строительных работ. Ограничений скорости движения поездов на участке дороги, где ведутся работы, не требуется.

*The issues of construction of underground structures in loose soils are considered, in particular: tunnels and underground passages under existing railways and highways in a closed way. To ensure uninterrupted movement over the structures, it is necessary to exclude the possibility of soil precipitation that may occur during construction. For this purpose, metal protective screens are used. A solution is proposed, the technical result of which is to increase the stability of the screen structure to deformations, which facilitates the construction of a protective screen and allows increasing the operational loads acting on it. This result is achieved through the use of a protective shield when pushing through the basic elements of the design. In the calculation carried out using the SolidWorks software product, the stress-strain state proposed by the MSE was checked after excavating the soil inside it to a depth of one entry. The maximum vertical displacement to which individual parts of the MSE structure are subject is  $\Delta r = 3,0$  mm, which complies with regulatory requirements regarding the organization of continuous train movement during construction work. There are no restrictions on the speed of trains on the section of road where work is being carried out.*

Металлические защитные экраны применяют при строительстве закрытым способом подземных сооружений в рыхлых грунтах, в частности тоннелей, труб, путепроводов тоннельного типа, подземных переходов под действующими железными и автомобильными дорогами. Главным при таком способе является обеспечение безопасности проведения строительно-монтажных работ и эксплуатации железных и автомобильных дорог в период строительства.

В. Н. Кравцов с соавторами [1] предлагает защитный экран, выполненный из железобетонных элементов в виде шпунтовых свай с открытыми полостями корытного, полукруглого или секторального (радиальный угол раскрытия от 90 до 180 градусов) поперечных сечений.

Однако у данного защитного экрана геометрия полутруб, используемых в конструкции, не устойчива к изгибам в поперечном направлении и к деформации кручения в поперечном направлении. Эти деформации

могут проявиться уже на этапе продавливания секций и во время выборки грунта в области, защищенной экраном. Также не ясно, каким образом секции из полутруб будут крепиться между собой.

Настоящая работа посвящена разработке решения, повышающего устойчивость конструкции к деформациям, что облегчает сооружение защитного экрана и позволяет увеличить эксплуатационные нагрузки.

Для этого предлагается при продавливании защитного экрана использовать базовые

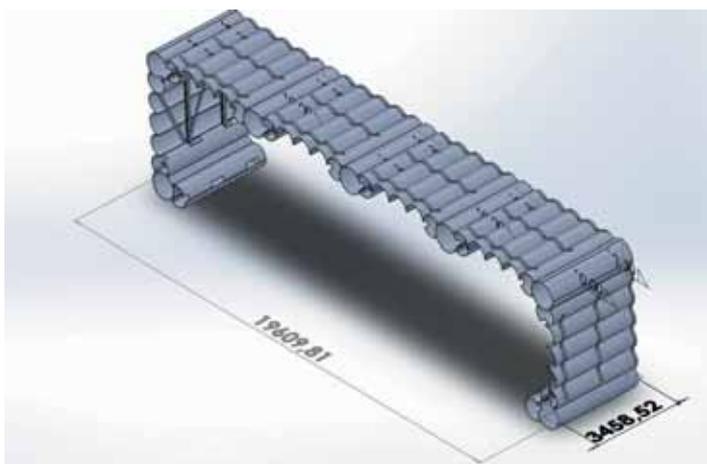


Рис. 1. Защитный экран – продольный размер заходки и ширина экрана

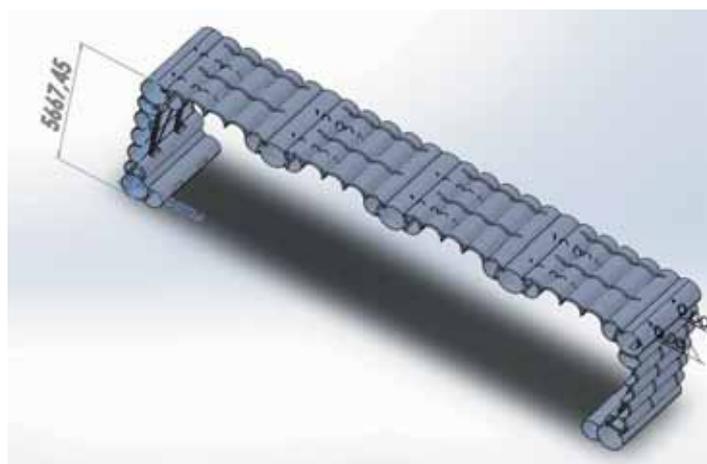


Рис. 2. Защитный экран – высота экрана

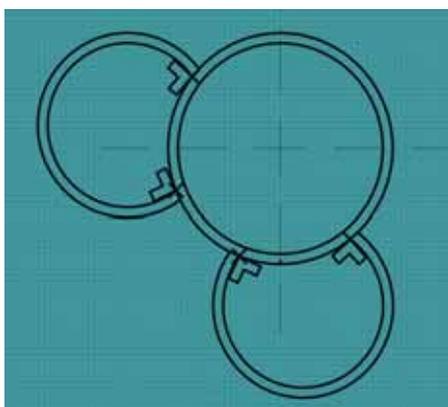


Рис. 3. Схема стыковки базовых элементов с направляющими трубами

вые элементы, которые сконструированы из секций из полутруб (рис. 1, 2). С обеих сторон к полутрубам приварены трубы с вырезанным сектором, образующие замково-направляющие соединения. Конструкция включает направляющие трубы с приваренными прокатными уголками. Угол сектора, вырезанного на боковой трубе, определяется расстоянием, на котором приварены направляющие уголки на направляющей трубе. К секции из полутруб с вогнутой или выпуклой сторон зигзагообразно приварены стальные полосы. Количество полос и угол, под которым они приварены к направлению продавливания, зависят от длины секции защитного экрана, а длина полос определяется

типом элемента секции защитного экрана. При формировании защитного экрана базовые элементы стыкуются с направляющими трубами за счет приваренных к направляющим трубам уголков, как показано на рис. 3.

В расчете, проведенном с использованием программного продукта SolidWorks, произведена проверка напряженно-деформированного состояния, предложенного МЗЭ после экскавации внутри него грунта на глубину одной заходки. Так как перед выемкой грунта из пространства под защитным экраном конструкция экрана укрепляется с двух сторон железобетонными порталами, а грунт извлекается поэтапно, можно считать, что кромки МЗЭ по периметру заходки жестко закреплены. Для придания конструкции экрана жесткости в углах технологических окон в поперечном направлении приваривают прокатные уголки или прокатный профиль П-образно, по всему периметру, и используются стальные усиливающие рамы по краям заходки.

Цель работы – показать, что предложенная конструкция защитного экрана под воздействием нагрузок, рассчитанных по методическим указаниям СН 2.02.01-2019 [2], соответствует требованиям:

- Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь, утвержденных постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 25 ноября 2015 г. № 52 (далее – Правила) [3];
- Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р (далее – Инструкция) [4].

### Исходные данные

Параметры МЗЭ представлены на рис. 1 и 2.

Параметры секции защитного экрана:

- секция защитного экрана состоит из полутруб диаметром  $D = 820$  мм с толщиной стенок  $S = 12$  мм. К секции с обеих сторон выпуклой боковой поверхностью приварены трубы диаметром  $D = 820$  мм с толщиной стенок  $S = 12$  мм с вырезанным сектором;

Параметры направляющей трубы и уголков:

- диаметр направляющей трубы  $D = 1020$  мм, толщина стенки  $S = 12$  мм, к ней приварены

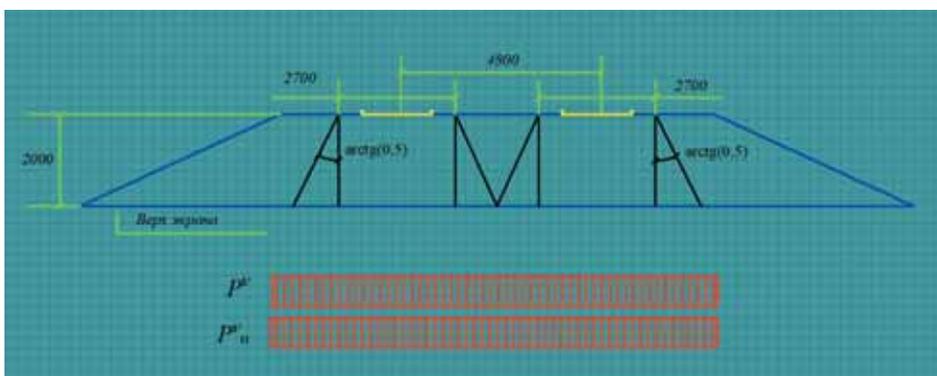
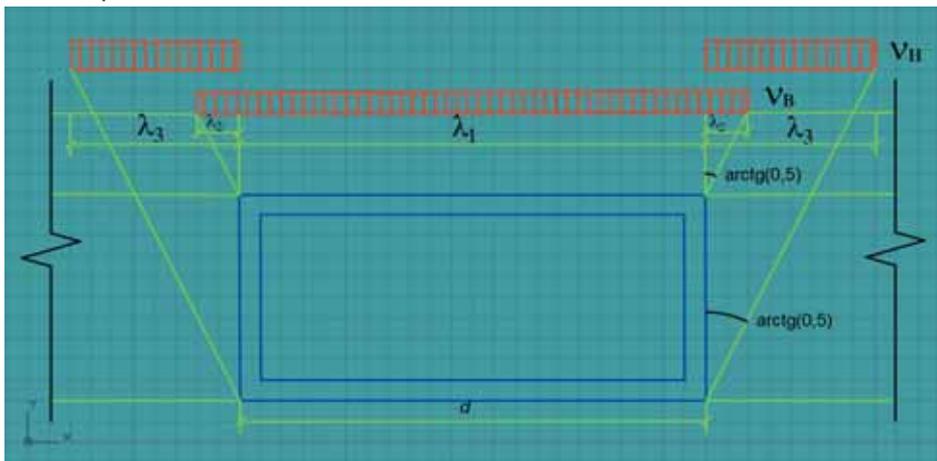


Рис. 4. Расчетная схема – поперечное направление

Рис. 5. Расчетная схема для определения вертикального давления грунта от подвижного состава железных дорог



прокатные уголки: ширина полки уголка  $b = 100$  мм, толщина полки  $l = 12$  мм;

- сварные швы: 10 мм;
- удельный вес грунта принят:  $\gamma_n = 17,7 \text{ кН/м}^3$ ;
- металл: сталь С245, предел текучести:  $2,45 \cdot 10^8 \text{ кН/м}^2$ ;
- глубина заходки:  $L = 3,5$  м.

Для придания конструкции экрана жесткости в углах технологических окон в поперечном направлении приваривают прокатные уголки или другой прокатный профиль по всему периметру МЗЭ П-образно. Технологические окна находятся на расстоянии 1,5 м друг от друга вдоль направляющей трубы и трубы с вырезанным сектором.

Для расчетов использовался программный продукт SolidWorks.

Расчетная схема для определения нормативного вертикального давления грунта  $P_n^v$ , кПа, от подвижного состава железных дорог и нормативного давления грунта  $P^v$ , кПа, от веса насыпи в поперечном направлении представлена на рис. 4.

Расчетная схема для определения вертикального давления грунта от подвижного состава железных дорог показана на рис. 5.

#### Нормативное давление грунта от веса насыпи

Нормативное давление грунта от веса насыпи на элементы МЗЭ  $P^v$ , кПа, определяется по формуле:

$$P^v = C_v \cdot \gamma_n \cdot h, \quad (7) \quad \text{с. 59 СН 2.02.01-2019}$$

где  $h$ ,  $h_x$ , – высота засыпки, м; определяют для элементов МЗЭ – в соответствии с приложением Б СН 2.02.01-2019, с.168;

$\gamma_n$  – нормативный удельный вес грунта,  $\text{кН/м}^3$ ;

$$C_v = 1 + B \cdot \left( 2 - \frac{B \cdot d}{h} \right) \cdot \tau_n \cdot \text{tg} \varphi_n \quad - \text{коэф-}$$

фициент вертикального давления грунта;

$$B = \frac{3}{\tau_n \cdot \text{tg} \varphi_n} \cdot \frac{S \cdot a}{h},$$

где  $S = 1,0$  и  $a$  – расстояние от основания насыпи до верха экрана. Приложение Б СН 2.02.01-2019, с.168;

если  $B > \frac{h}{d}$ , то  $B = \frac{h}{d}$ ,

$\tau_n$  – коэффициент нормативного бокового давления грунта засыпки для элементов МЗЭ определяют по формуле:

$$\tau_n = \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right),$$

где  $\varphi_n$  – нормативный угол внутреннего трения грунта, значения  $\gamma_n$  и  $\varphi_n$  принимают на основании лабораторных исследований образцов грунтов, предназначенных для засыпки сооружения.

Для исследуемой конструкции МЗЭ  $d = 19,6$  м,  $\gamma_n = 17,7 \text{ кН/м}^3$ .

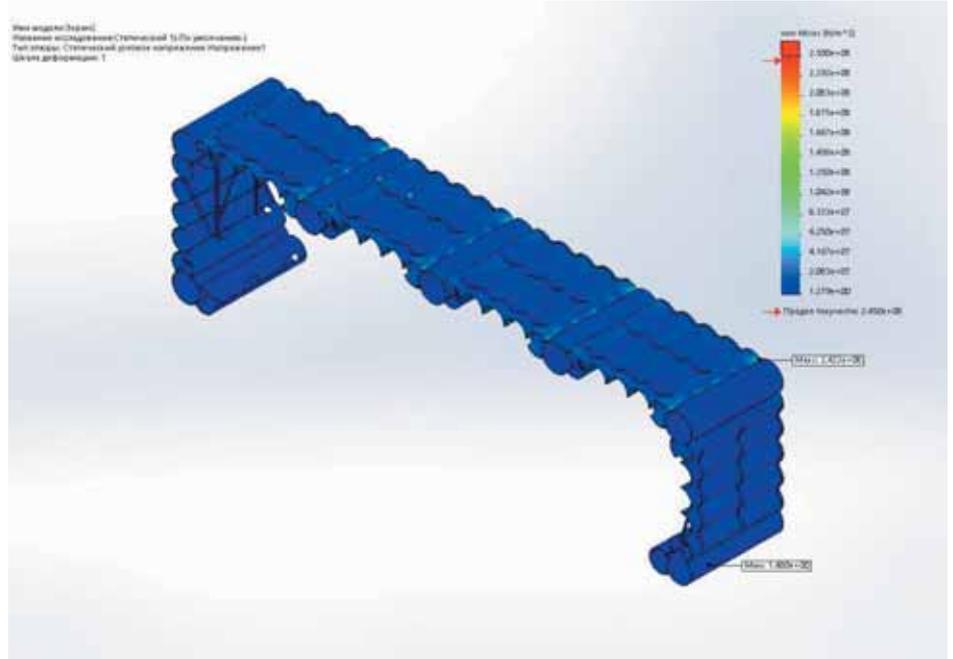


Рис. 6. Результаты исследования напряженного состояния МЗЭ

#### Нормативное горизонтальное давление грунта от веса насыпи

$$P_v = \gamma_n \cdot h_x \cdot \tau_n, \quad (8) \quad \text{с. 59 СН 2.02.01-2019}$$

$$\tau_n = \text{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_n}{2} \right). \quad (9) \quad \text{с. 59, } \varphi_n = 30^\circ.$$

#### Нормативное вертикальное давление грунта $P_n^v$ , кПа, от подвижного состава железных дорог

Нормативное давление грунта  $P_n^v$ , кПа, от подвижного состава на звенья (секции) труб на соответствующую проекцию внешнего контура трубы следует определять с учетом распределения давления нагрузки в грунте по формулам:

$$P_n^v = \frac{v}{2,7 + h},$$

где  $v$  – интенсивность эквивалентной нагрузки, рассчитываемая при значениях параметров  $1,5 \leq \gamma \leq 50$  м, определяют по формуле:

$$v = \left( 9,807 + \frac{10,787}{e^{0,04\lambda}} + \frac{43,149}{\lambda^2} \right) \cdot \left( 1 - \frac{\alpha}{4} \right) \cdot K,$$

где  $K = 14$ ,  $a = 0,5$ .

Коэффициент надежности по нагрузке для давления грунта от веса насыпи  $\gamma_f = 1,3$ . От подвижного состава на призме обрушения для вертикальной нагрузки  $\gamma_f = 1,3$ , горизонтальной  $\gamma_f = 1,2$ .

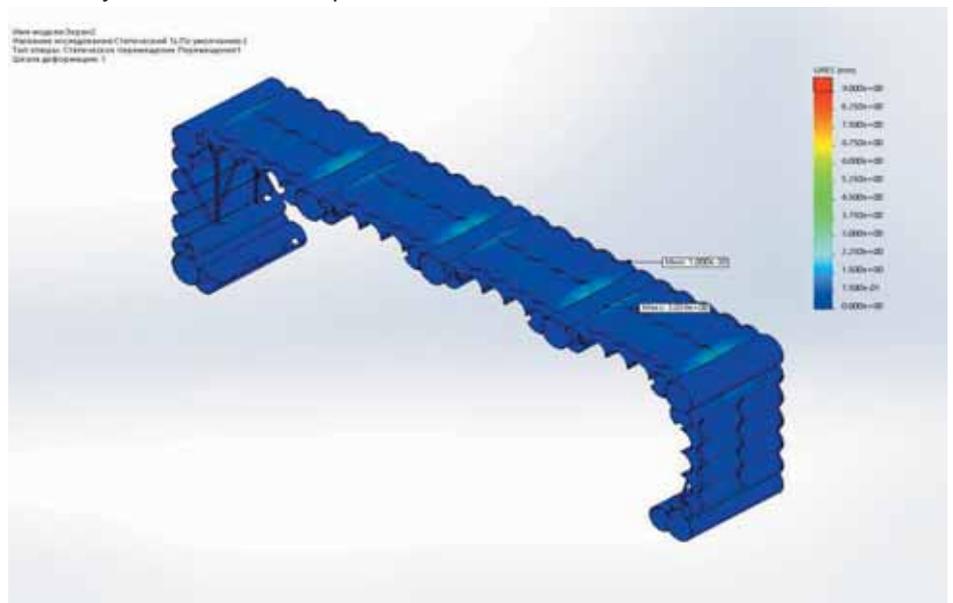
#### Уравнения для расчета нормативных и расчетных нагрузок на защитный экран

Уравнения адаптированы под систему координат SolidWorks.

#### Уравнение для расчета нормативной нагрузки на верхнюю секцию защитного экрана

$$P_n^e = 18054 \cdot (2,51 - y) + \frac{176962}{5,21 - y},$$

Рис. 7. Результаты исследования перемещений, возникающих в МЗЭ



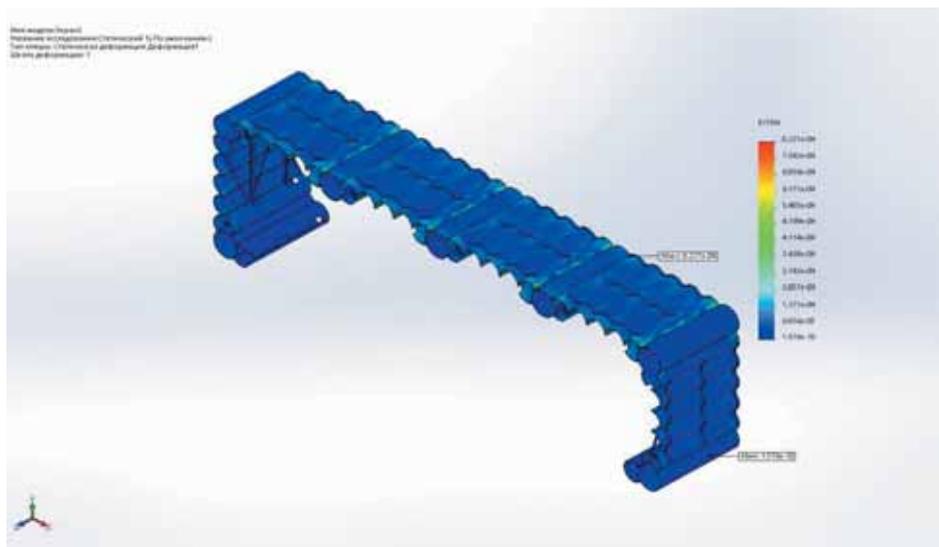


Рис. 8. Результаты исследования деформаций, возникающих в МЗЭ

Уравнение для расчета нормативной нагрузки на боковые секции защитного экрана

$$P_n^{\sigma} = 5899 \cdot (2,51 - y) + \frac{\left( 9807 + \frac{10787}{e^{0,1004 - 0,04y}} + \frac{43149}{(2,51 - y)^2} \right) \cdot 4,0829}{5,21 - y}$$

Уравнение для расчетной нагрузки на верхнюю секцию защитного экрана

$$P_p^{\sigma} = 23470 \cdot (2,51 - y) + \frac{230050}{5,21 - y}$$

Уравнение для расчетной нагрузки на боковые секции защитного экрана

$$P_p^{\sigma} = 7669 \cdot (2,51 - y) + \frac{\left( 9807 + \frac{10787}{e^{0,1004 - 0,04y}} + \frac{43149}{(2,51 - y)^2} \right) \cdot 4,8995}{5,21 - y}$$

Выводы

Максимальное напряжение, которое испытывают отдельные части верха кон-

Таблица 2 (страница 37) Правил

Уровень, мм (исключая участки, на которых отвод возвышения наружного рельса устроен в прямой)	Перекос, мм	Просадка, мм	Требуемое ограничение скорости движения поездов (числитель – пассажирские поезда, знаменатель – грузовые), км/ч
Более			
20	16	20	120/90
25	20	25	60/60
30	25	30	40/40
35	30	35	15/15
50	50	45	движение прекращается

страница 19 Инструкции  
Таблица 2.7. Неисправности по просадкам

Установленная скорость, км/ч	Величина просадки, мм
141–200	<b>более 18</b>
121–140	более 20
61–120 / 61–90*	более 25
41–60	более 30
16–40	более 35
15	более 35 до 45
Закрытие движения	более 45

\* – для грузовых поездов, км/ч

струкции, а именно трубы с вырезанным сектором в местах соединения с направляющими трубами по «П»-образным краям заходки составляет  $\sigma = 2,4 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup> (рис. 6). Максимальное напряжение не превышает предел текучести  $2,45 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup> выbranной нами стали.

Максимальное вертикальное перемещение, которому подвержены отдельные части конструкции, а точнее трубы с вырезанным сектором по середине продольного направления заходки МЗЭ составляет  $\Delta r = 3,0$  мм (рис. 7), что соответствует требованиям Правил [3] и Инструкции [4] в части организации непрерывного движения поездов при проведении строительных работ. Ограничение скорости движения поездов на участке дороги, где ведутся работы, не требуется.

Размеры защитного экрана в сравнении с его размерами до нагружения изменились в допустимых пределах, максимальная деформация  $\varepsilon = 8,2 \cdot 10^{-4}$  (рис. 8).

В таблицах приведены соответствующие нормативные требования Правил и Инструкции.

С учетом вышеизложенного, можно сделать вывод, что предложенное технологическое решение позволит повысить устойчивость конструкции МЗЭ к деформациям, что облегчит сооружение МЗЭ и увеличит эксплуатационные нагрузки на МЗЭ.

Ключевые слова

Строительство, подземные сооружения, тоннели, подземные переходы, продавливание, защитные экраны, устойчивость экрана, непрерывное движение поездов.

*Construction, underground structures, tunnels, underpasses, punching, protective screens, screen stability, continuous train movement.*

Список литературы

1. Способ возведения подземного тоннеля с использованием защитного экрана и подземный тоннель: пат. ВУ 22473 / В. Н. Кравцов, В. Кым, В. А. Кым, П. В. Лапатин. – Огубл. 30.04.2019.
2. СН 2.02.01-2019. Строительные нормы Республики Беларусь. Здания и сооружения. Отсеки пожарные будынкi і збудаваннi. Адсекi пажарныя. Постановление Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь. 31 октября 2019 г. № 59.
3. Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь, утвержденные постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 25 ноября 2015 г. № 52.
4. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288р.

Для связи с авторами

Прибыльская Наталья Михайловна  
Гречухин Владимир Александрович  
vag\_ftk@bntu.by



# РИСКИ ПРИ УСТРОЙСТВЕ КОТЛОВАНОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

## PITS CONSTRUCTION RISKS DURING MOSCOW METRO CONSTRUCTION

А. А. Долев, к. т. н., АО «Мосинжпроект»

A. A. Dolev, PhD (Candidate of Science in Technics), Company «Mosinjproekt»

**Подземное строительство в условиях Московского мегаполиса сильно осложнено неоднородными инженерно-геологическими и гидрологическими условиями, плотной окружающей застройкой, сжатыми сроками производства работ. Следствием этого является наличие серьезных рисков при производстве работ по устройству котлованов для строительства объектов метрополитена. Подобные риски в достаточной степени разнообразны и для их минимизации требуют систематического отношения, постоянной фиксации и предупреждения.**

*Underground construction in the conditions of the Moscow metropolis is greatly complicated by heterogeneous engineering and geological conditions, hydrological conditions, dense surrounding buildings, and tight deadlines for work. The consequence of this is the presence of serious risks during the work on the construction of pits for the construction of metro facilities. Such risks are sufficiently diverse and require systematic treatment, constant fixation and prevention to minimize them.*

В настоящее время в Москве реализуется масштабная программа строительства метрополитена. За последние десять лет построено 177 км линий и 90 станций метрополитена и МЦК. Так, строится Большая кольцевая линия (БКЛ), будет построена новая Троицкая ветка, а также участок Калининско-Солнцевской линии до аэропорта Внуково, Сокольнической – до станции «Новомосковская», Люблинско-Дмитровской – до поселка Северный. Планируются работы по новым веткам – Рублево-Архангельской, Бирюлевской и участком Арбатско-Покровской линии в Гольянове. После завершения строительства БКЛ Москва продолжит расширять радиальные линии метро. Планируется открыть новый участок Калининско-Солнцевской линии до «Внуково», а также участок от «Селигерской» до «Физтеха». Таким образом объем работ, а значит и количество сооружений метрополитена, для которых необходима разработка котлованов, сегодня является значительным и будет неуклонно повышаться в дальнейшем.

Метрополитен – заглубленное сооружение, строительство которого осуществляется, как правило, на территории с плотной городской застройкой [1]. Если тоннели метрополитена обычно заглубленные и их строительство ведется посредством тоннелепроходческих комплексов, то станции и станционные комплексы в основном проектируются малозаглубленными и возводятся открытым способом в котлованах. При этом котлованы метрополитена отличаются большей глубиной, расположением

в условиях плотной городской застройки, высоким темпом производства работ по их устройству.

### Результаты и обсуждение

В связи с большими объемами строительства происходит накопление данных о внештатных ситуациях при сооружении котлованов. При анализе происшествий, их последствий, причин и детального рассмотрения всего комплекса происходивших друг за другом событий, приведших к рассматриваемому результату, но по отдельности связанных с ним косвенно, позволили выявить определенные риски, наличие которых потенциально позволяет предвидеть последствия как при проектировании, так и при начале производства работ.

Так, очевидно, что основные риски связаны с дополнительными затратами (как трудовыми, так и финансовыми).

### Затопление

Одним из самых затратных является ликвидация последствий при полной потере котлована. Как правило, это возникает при его заполнении водогрунтовой смесью при соответствующем наличии грунта, обладающего свойствами «пльвуна», т. е. в обычном состоянии это плотный водонасыщенный грунт, а при вибрации или даже от простого наличия градиента давления, этот грунт разжижается и приобретает свойства жидкости, затекает в котлован через места разгрузки (щели, прорывы) и заполняет его до уровня природного залегания (с учетом принципа сообщаю-

щихся сосудов). При этом в соседнем грунтовом массиве образуются либо области с пониженным напряженно-деформированным состоянием (НДС), либо пустоты, грозящие провалом на дневной поверхности. Несколько щадящим вариантом является затопление котлована просто грунтовыми водами. Причины затопления остаются те же, но поскольку грунтовые воды в основном достаточно равномерно и свободно фильтруются через грунтовый массив, то и НДС не меняется (кроме случая выноса мельчайшей фракции и снижения трения между оставшимися относительно крупными частицами грунта), пустоты не образуются и деформации дневной поверхности минимальны. Заполнение котлована грунтовыми водами/«пльвуном» происходит через щели, неплотности в ограждающей конструкции котлована, вызванные:

- расхождением отдельных элементов «стены в грунте» или шпунтин, происходящих с тем большей вероятностью, чем большая глубина ограждающей конструкции;
- некачественным устройством, т. е. сквозными неплотностями или непробетонированными/сквозными глинистыми включениями в «стене в грунте» или локальными отказами при погружении отдельных шпунтин.

Подобные инциденты являются следствием отступления от технического регламента и некачественного производства работ.

Здесь имеется одно отягчающее обстоятельство. Если заполнение котлована осуществляется из щелей, находящихся выше



Рис. 1. Поступление в котлован грунтовых вод через дефекты «стены в грунте», находящиеся выше дна котлована



Рис. 2. Процесс затопления котлована пльвуном, поступающим через дефекты (в ограждении котлована), находящиеся ниже его дна

дна котлована (рис. 1), то такие аварийные ситуации сравнительно легко локализируются и подлежат ликвидации (например, гидроактивными полимерными смолами), то при расположении этих щелей ниже дна котлована, т. е. в массиве грунта (рис. 2), их локализация как по глубине, так и вдоль ограждающей конструкции крайне затруднительна. Из этого вытекают и особые трудности, а порой и невозможность ремонтных работ.

Отдельно необходимо отметить такие риски аварийных ситуаций, как локальные неоднородности в подстилающем дне котлована слое водонепроницаемого грунта (водоупора) в границах ограждающих конструкций котлована при наличии напорных грунтовых вод в нижележащих слоях грунта. Суглинки и глины почти всегда имеют прослойки песчаного грунта, зачастую сообщающиеся между собой и в вер-

тикальном направлении. И даже в том случае, когда таких прослоек не обнаружено при геологических изысканиях, всё равно при увеличении площади котлована увеличивается и потенциальная возможность наличия локальных мест с пониженной плотностью водоупорного грунта. В таких случаях возможны водопроявления в виде ключей/родников, образующиеся на дне котлована. Объемы поступления воды, как и места ее выхода, носят случайный характер и, в общем, не поддаются прогнозу (рис. 3). Предположить возможно только принципиальное увеличение объема разгрузки воды в зависимости от величины напора уровня грунтовых вод (УГВ) и постепенное увеличение дебита разгрузки вследствие размывания канала выхода воды со временем.

Имеются еще одни риски со сходными последствиями. Это риски наличия плохо затам-

понированной глубокой геологоразведочной скважины в пятне котлована при наличии слоя водоупора и напорных грунтовых вод в подстилающем слое. В соответствии с действующими нормативными документами, тампонирующее подобный скважин необходимо осуществлять способом, предотвращающим соприкосновение различных горизонтов УГВ. Однако, к сожалению, в действующей практике инженерно-геологических работ производится простая обратная засыпка скважин породой из отвала этих же скважин без привязки к отметкам заложения водоупорных грунтов. Как следствие этого – риски водопроявлений по этим скважинам при разработке котлована.

Для предотвращения постепенного затопления котлована при образовании родников или при наличии плохо затампонирующей скважины необходимо на начальном этапе органи-

Рис. 3. Процесс поступления воды в котлован через неустановленный источник



Рис. 4. Процесс откачки воды из плохо затампонирующей геологоразведочной скважины в пятне котлована



зовать локализацию водопроявления и начать откачку воды, например, погружными насосами (рис. 4). В дальнейшем водопроявление подлечит ликвидации быстротвердеющим материалом (например, гидроактивной полиуретановой пеной), а при наличии полости размыва – дополнительная засыпка полости щебнем или чутунной дробью (при больших скоростях движения воды). Эти работы производят при организации разгрузки воды через предварительно погруженную на большую глубину трубу адекватно подобранного диаметра. Впоследствии, при схватывании быстротвердеющего материала и образования монолитной пробки, через фланец производится заглушка трубы после прекращения разгрузочной откачки.

Все вышеописанные случаи относятся к совершенным котлованам. При несовершенных котлованах, в случае УГВ выше дна котлована, отсутствие грунтовых вод в котловане обеспечивается, как правило, глубинным водопонижением. При этом очень важно чтобы водонасосное оборудование работало постоянно, без перебоев в электропитании и имелись в наличии резервные насосы.

### Деформации конструкций котлована

Выбор ограждения котлована зависит в первую очередь от геологических условий, в том числе от УГВ, а также от глубины котлована и, частично, от его конфигурации в плане [2]. В самом простом случае, т. е. при отсутствии грунтовых вод выше уровня дна котлована и отсутствии окружающей застройки/коммуникаций котлован устраивают в естественных откосах. При большей глубине котлована и отсутствии грунтовых вод используют стальные трубы, заполняемые песком, реже бетоном, или двутавровые балки. Погружают их либо в заранее пробуренные скважины (при отсутствии грунтов, склонных к оплыванию), или посредством вибропогружения. При расстоянии между трубами/балками более  $\approx 0,5$  м между ними при разработке котлована устраивается затяжка из досок. Подобная конструкция ограждения котлована технологична, позволяет устраивать относительно глубокие котлованы, но обладает небольшой гибкостью и не может быть использована в водонасыщенных грунтах без организации водопонижения. И, наконец, наиболее капитальное ограждение, т. е. с минимальной гибкостью, максимальным заглублением и, главное, водонепроницаемое – это «стена в грунте», которая может быть либо траншейной, либо из буросекущихся свай. Распорная система представляет собой распределительные пояса из металлических швеллеров/двутавров по ограждающей конструкции котлована (как правило, 2–6 ярусов) и распорок из металлических труб между ярусами распределительных поясов, реже железобетонных балок. Значительно реже грунтовые анкеры по распределительным поясам [3].

Как известно, ограждающие конструкции котлована рассчитываются на прочность и устойчивость. Величина нагрузки на ограждение котлована зависит главным образом

от вида грунта и уровня УГВ. Очевидно, что чем более связный грунт, тем меньше давление он оказывает на ограждающую конструкцию. Но поскольку при определении физико-механических свойств грунта их значения, как и отметки заложения инженерно-геологических элементов (ИГЭ) усредняются по положению скважин, имеет место некоторая неопределенность истинных значений как положения слоев ИГЭ между скважинами, так и свойств грунтов между точками отбора. При расчетном обосновании подобная неопределенность нивелируется коэффициентами запаса. К сожалению, бывают случаи, когда общий коэффициент запаса не перекрывает указанную неопределенность. А еще в редких случаях, но все же бывают обычные ошибки при проведении расчетного обоснования. Или чрезмерные упрощения [4] и неточности при создании расчетной схемы. Особенно опасны подобные явления в сложных геологических условиях (несколько горизонтов УГВ, частое переслоение ИГЭ, большой разброс в отметках ИГЭ по продольному профилю) при большой глубине котлована. Особое внимание заслуживает величина заделки. При ошибке в ее расчетном обосновании имеет место как потеря общей устойчивости, так и потеря прочности конструкции ограждения котлована с появлением вывалов грунта и водопроявлениями. Также опасны местные смятия в узлах крепления распорок к поясам, потеря устойчивости самих распорок, смятие ребер распределительных поясов, то же для труб и двутавров ограждения котлована, излом «стены в грунте». Для предупреждения подобных явлений анализируют динамику деформаций распорной и ограждающих конструкций котлованов по результатам натурных наблюдений. При появлении признаков аварийной ситуации незамедлительно выполняют усиление конструкций накладками, косынками, устраивают дополнительные распределительные пояса и распорки.

Отдельное внимание заслуживают риски, связанные с нарушением технологии производства работ, т. е. обыкновенное качество строительного производства. При этом конструкции котлована, выполненные с недостаточным качеством, также представляют опасность сверхнормативной деформации. Наиболее распространенным дефектом является непробетонирование траншейной «стены в грунте» (рис. 5).

Подобные сложности имеют место в связи с заполнением захватки «стены в грунте» при ее устройстве бентонитовым раствором и его вы-

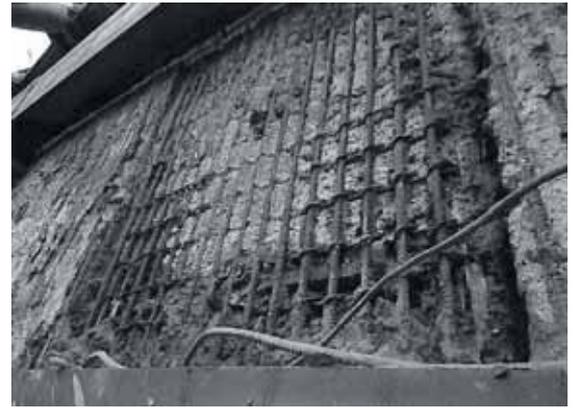


Рис. 5. Дефект траншейной «стены в грунте»

теснением при укладке бетонной смеси, частым расположением арматурных стержней (отступление от норм), сложное погружение каркаса с помощью задавливания или вибрирования.

Следствием этого являются: ненормативное уменьшение защитного слоя бетона (исключение из работы расчетной рабочей арматуры со снижением прочности и деформативности конструкции (рис. 6)), наличие сквозных включений из бентонита (нарушение сплошности бетонной конструкции, т. е. фильтрация грунтовых вод). Еще одним дефектом является отклонение от вертикали отдельных захваток или буросекущихся свай. Особенно это опасно при больших глубинах производства работ. При таких дефектах возникают расхождения и щели в конструкциях, через которые могут поступать грунтовые воды/пльвуны, следствием чего является потенциальное подтопление/загрязнение котлована. При использовании шпунтовых ограждений котлованов самым сложным является погружение шпунта на

Рис. 6. Излом «стены в грунте» вследствие отсутствия требуемого качества





Рис. 7. Отсутствие возможности погружения шпунта на требуемую глубину для всех шпунтин

требуемую глубину повсеместно (рис. 7), помимо наличия валунов и неоднородности в сопротивлении грунта, риском так же является заклинивание/спаивание замкового соединения металлического шпунта.

#### Нанесение ущерба окружающей застройке

Даже в том случае, когда ограждение котлована вместе с его распорной системой полностью обеспечивает требования по прочности и устойчивости, не происходит фильтрации в котлован грунтовых вод из массива окружающего грунта, не происходит изливов пльвунов, в окружающем котлован грунтовом массиве все равно происходит изменение НДС [5]. Это связано с тем, что не скальный грунт в любом случае имеет деформативность, а при разработке котлована его ограждение всегда имеет деформации, вслед за которыми деформируется и грунт. При этом деформации металлических ограждений/распорной системы всегда выше, чем деформации таковых железобетонных. Также необходимо учитывать, что при устройстве самого ограждения («стены в грунте», бурение под шпунтовые трубы и т. д.) имеют место технологические осадки, связанные с таким же изменением НДС прилегающего грунтового массива (только в значительно меньших масштабах) от выемки грунта технологическим оборудованием. Таким образом, при разработке котлована в любом случае окружающий грунтовой массив деформируется, а на поверхности грунта проявляются осадки. Осадки имеют значение тем большее, чем ближе к краю котлована. Эти осадки возможно заранее определить расчетными методами. Однако не всегда расчетные значения деформаций совпадают с натурными. Вследствие этого всегда есть риск как допустимых, так и сверхнормативных осадок близлежащих к котловану зданий и сооружений, а также коммуникаций. Особенно подобные риски велики при обводнении глинистых или при наличии водонасыщенных песков. А минимальны – при наличии твердых/тугопластичных необводненных глин.



Рис. 8. Сверхнормативные деформации окружающего массива грунта и временных сооружений около котлована

Риск нанесения ущерба окружающей застройке увеличивается до критического при сверхнормативной деформации ограждения котлована или при фильтрации грунтовых вод из рассматриваемого грунтового массива или особенно при выходе пльвуна (рис. 8). При этом осадки поверхности и изменения НДС приобретают значительные величины, фундаменты зданий в зоне влияния получают сверхнормативные значения деформаций вплоть до разрушения последних. То же относится и к коммуникациям.

#### Заключение

Подытоживая указанное выше, необходимо отметить, что проектирование и устройство котлованов при строительстве метрополитена имеет ряд особенностей, которые усложняют его реализацию: значительная глубина (20–30 м), наличие сложившейся застройки в непосредственной близости от бровки котлована и наличие обводненных песков, особенно мелких и пылеватых, а также (но в меньшей степени) глини текучей консистенции, как правило, наличия высокого УГВ.

В связи с этим разработка котлованов имеет такие риски, как полная потеря котлована в связи с его затоплением/заполнением пльвунной грунтовой массой, подтопление котлована грунтовыми водами, сверхнормативная деформация ограждения котлована/распорной системы, сверхнормативная деформация окружающей застройки и коммуникаций.

Для минимизации вышеуказанных рисков, прежде всего, необходимо дальнейшее повышение культуры проектирования и качества производства работ. Для своевременного выявления и локализации отрицательных явлений и внештатных ситуаций требуется организация постоянных наблюдений как за перемещениями ограждения котлована, так и за деформациями/напряжениями в его распорной системе. Отдельно необходим мониторинг окружающей застройки и поверхности грунта.

Наличие этих мероприятий необходимо обязательно учитывать при проектировании

и выполнении работ по устройству котлованов для объектов метрополитена, понимая, что риски отрицательных последствий при разработке котлована полостью исключить не представляется возможным. Возможно только их своевременное выявление с целью минимизации. Также требуется дальнейший сбор и систематизация информации по имеющим место внештатным ситуациям при разработке котлованов.

#### Ключевые слова

Подземные сооружения; «стена в грунте»; водопроявление; деформация конструкций котлована; сверхнормативные деформации окружающей застройки.

*Underground structures; step in the ground; water occurrence; deformation of the pit structures; excessive deformation of the surrounding buildings.*

#### Список литературы

1. Конюхов Д. С., 2021. Критериальный анализ современных технологий подземного строительства. *Геотехника*. № 1, с. 40–54.
2. Желгова Ю. Г., Титаренко Б. П., 2020. Анализ проектных решений ограждений котлованов. *Автоматизация. Современные технологии*. № 9, с. 390–393.
3. Кашикарров С. Н., 2019. Обзор распорных систем крепления ограждения глубоких котлованов. *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. № 1, с. 77–82.
4. Конюхов Д. С., Казаченко С. А., 2017. Анализ факторов, влияющих на сходимость результатов геотехнических расчетов с данными мониторинга. *Метро и тоннели*. № 5–6, с. 16–21.
5. Дзагов А. М., Агафонова О. В., Анисимов И. Г., 2021. Из опыта мониторинга ограждения глубокого котлована. *Вестник НИЦ Строительство*. № 2, с. 47–57.

#### Для связи с автором

Долев Андрей Андреевич  
Dolevaa@mosinzhpoeekt.ru



# ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДКИ ПО ДАННЫМ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ

Н. Ф. Бабушкин, И. О. Исаев, ООО «Институт «Мосинжпроект»  
Н. А. Филаретов, В. В. Шишкина, АО «Мосинжпроект»



Строительство перегонных тоннелей метрополитена осуществляется с помощью тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК) с активным пригрузом забоя, что минимизирует влияние на окружающую застройку [1].

Обеспечивая устойчивость забоя в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях, ТПМК совершает выемку грунта, далее в проектное положение устанавливается постоянная обделка тоннеля – сборные железобетонные или монолитные кольца [2]. С момента выхода готового кольца из-под юбки ТПМК через специальные патрубки осуществляется нагнетание тампонажного раствора в заобделочное пространство [3], что значительно сокращает оседание земной поверхности. Далее с помощью гидродомкратов щит передвигается по проектируемой трассе строительства, отталкиваясь от блоков тоннельной обделки [4]. Данные технологические операции повторяются с определённой цикличностью.

При строительстве перегонных тоннелей способом ТПМК и при условии обеспечения требуемого уровня безопасности одним из приоритетных направлений деятельности ООО «Институт «Мосинжпроект» является обоснованное снижение затрат на геотехнический мониторинг окружающей застройки и противоаварийные мероприятия.

Исследование расчетных параметров проходки, в частности коэффициента перебора грунта  $Ground\ Loss\ Ratio\ (GLR)$  [5], по фактическим данным мониторинга за окружающим массивом грунта, зданиями и сооружениями, расположенными в пределах

Таблица 1

Класс грунта	Скальный	Дисперсный
Двухмерная постановка	0,3–0,7	0,8–1,3
Трёхмерная постановка	0,5–1,1	1,2–1,8

мульды сдвижения, выполнено сотрудниками нашей организации и приведено в работах [6–8]. Анализ публикаций позволяет судить об актуальности данных исследований и необходимости их распространения на различные условия проходки (грунтовые условия, глубина проходки, плотность городской застройки и т. д.).

## Методы исследований

Систематизация настоящих данных позволяет выявить теоретические и эмпирические зависимости осадок дневной поверхности в зависимости от условий проходки. Предварительное обобщение результатов ранее проведенных нами исследований, а именно значений коэффициента перебора в дисперсных грунтах в зависимости от вида ТПМК и типа расчетной задачи, представлено в табл. 1.

Анализ фактических данных мониторинга позволяет не только откорректировать прогнозируемые значения и область активных деформаций, но и внести своевременные корректировки в режим проходки (скорость проходки, давления грунтопригруза, объем нагнетания тампонажного раствора) для наиболее опасных участков трассы.

По причине того, что точно спрогнозировать осадки окружающей застройки, учитывая все многообразие влияющих на результаты факторов, представляется достаточно трудновыполнимым, и погрешность таких прогнозов может быть достаточно велика, то наиболее перспективным является подход, основанный на анализе данных мониторинга проходки участка трассы, расположенного непосредственно перед рассматриваемым участком, и выявления зависимостей. В данном случае предусматривается дробление рассматриваемого перегона на участки со схожими инженерно-геологическими условиями. В ранее выполненные расчеты вносятся своевременные корректировки, что позволяет добиться высокого уровня сходимости прогнозируемых и фактических данных.

В нормативной документации значения перебора грунта рассматриваются только в рамках СП 249.1325800.2016 «Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способом», а представленные значения корректно использовать только для оценки влияния проходки коммуникационных тоннелей.

В рамках общепринятого аналитического решения выполняется сопоставление

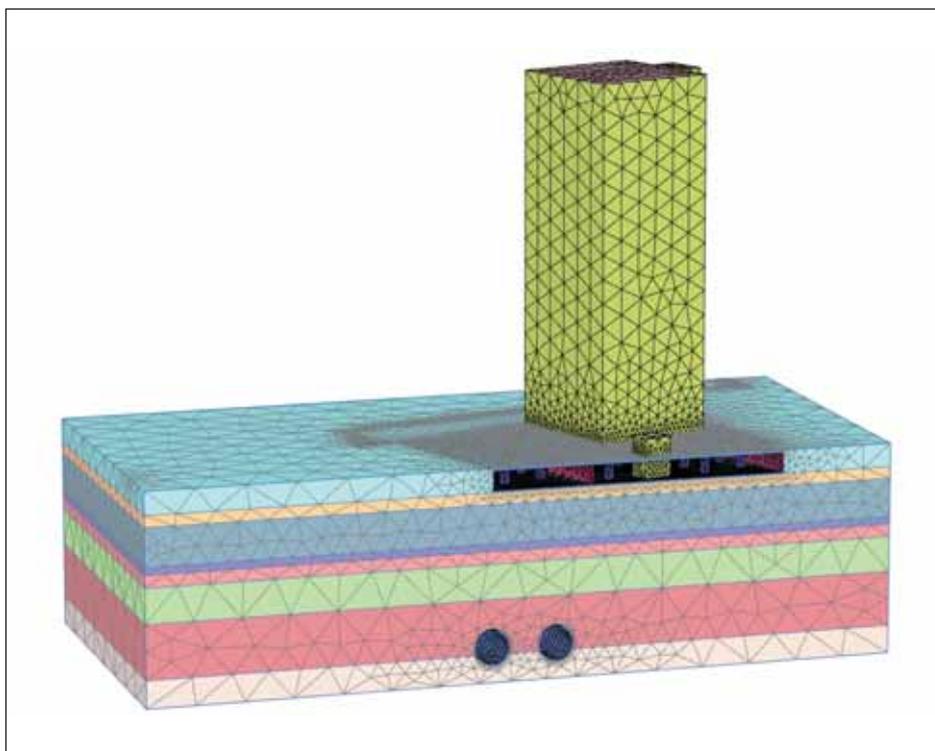


Рис. 1. Пример трехмерной расчетной схемы оценки влияния строительства тоннелей на здание с развитой подземной частью Большой кольцевой линии (БКЛ)

диаметров режущего органа ТПМК и передней части щита, а осадка дневной поверхности описывается перевернутой кривой Гаусса. Анализ данных мониторинга показывает, что существующие зависимости требуют уточнения для современных ТПМК, применяемых при строительстве Московского метрополитена, и в большинстве случаев не соблюдаются.

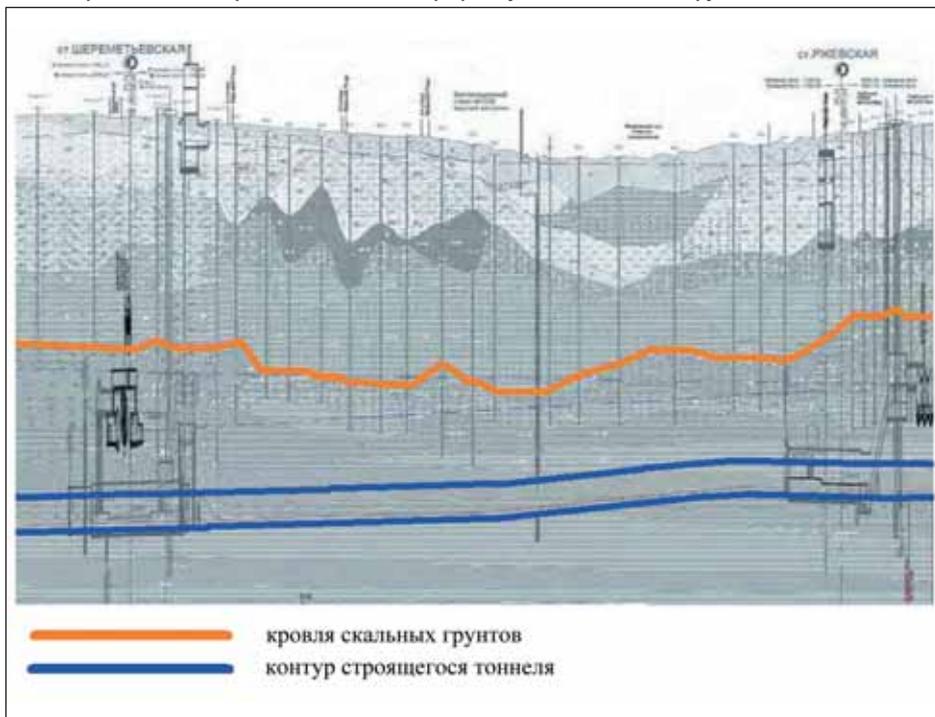
Расчетный анализ в рамках настоящей работы выполнялся в геотехническом программном комплексе PLAXIS. Ниже представ-

лен общий алгоритм проведения расчетов и методология исследования.

Прогнозирование дополнительных перемещений осуществляется в плоской и пространственной (рис. 1) постановке с учетом обязательных принципов построения математической модели в PLAXIS.

Дополнительные осадки зданий в двумерной модели больше, чем в трехмерной модели, а коэффициент перебора имеет обратную зависимость – в трехмерных задачах параметр больше.

Рис. 2. Фрагмент инженерно-геологического профиля участка в скальном грунте



Коэффициент перебора грунта задавался на этапе построения схемы с помощью параметра  $C_{ref}$ , который учитывался при выборе команды «Line Contraction» в окне создания поперечного сечения тоннеля.

Поэтапное математическое моделирование проходки в PLAXIS задается по фазам:

- 0 фаза (Initial State). Моделирование начальных природных напряжений, предшествующих строительству;
- 1 фаза. Активируются осадки/деформации окружающей застройки, несущие конструкции зданий и сооружений;
- 2 фаза. Проходка тоннеля. Активируется усадка и обделка тоннеля вместе с интерфейсами. Деактивируется гидростатическое давление внутри строящегося тоннеля.

### Объекты исследований

Корректировка технологического параметра осуществлялась на следующих участках строительства:

- перегонные тоннели БКЛ Московского метрополитена от ст. «Савеловская» до ст. «Стромынка» от ПК 231 до ПК 286;
- перегонный двухпутный тоннель между ст. «Окская» и ст. «Стахановская»;
- перегонный двухпутный тоннель от ст. «Стахановская улица» до ст. «Нижегородская улица» от ПК 131 до ПК 137;
- перегонный двухпутный тоннель от переходной камеры за ст. «Косино» до ст. «Юго-Восточная» на ПК 70 до ПК 79.

В геологическом строении участка строительства БКЛ принимают участие отложения четвертичной, меловой, юрской и каменноугольной систем.

По данным сейсморазведки на данном участке работ в интервале глубин 37–41 м от поверхности земли выделена граница – кровля каменноугольных отложений, представленных известняком и мергелем (С3изм). Дополнительно по результатам инженерно-геологических изысканий установлено наличие локальных зон разуплотнения и повышенной трещиноватости массива. Фрагмент инженерно-геологического профиля от ст. Шереметьевская (ПК 271+28,26) до ст. Ржевская (ПК 258+31,58) представлен на рис. 2.

Геологическое строение остальных рассматриваемых участков характеризуется дисперсными грунтами. В забое щита наблюдались следующие типы грунтов:

- песок (от ст. «Окская» до ст. «Стахановская»);
- песок, песок с суглинком, суглинок с глиной и глина (от ст. «Стахановская улица» до ст. «Нижегородская улица»);
- песок, песок с суглинком (от ст. «Косино» до ст. «Юго-Восточная») (рис. 3).

В проведенных исследованиях корректировка производилась путем последовательных итераций технологического параметра до достижения вертикальных перемещений объектов, полученных с помощью данных натурных наблюдений.

Пересчет коэффициента осуществлялся по данным анализа вертикальных переме-

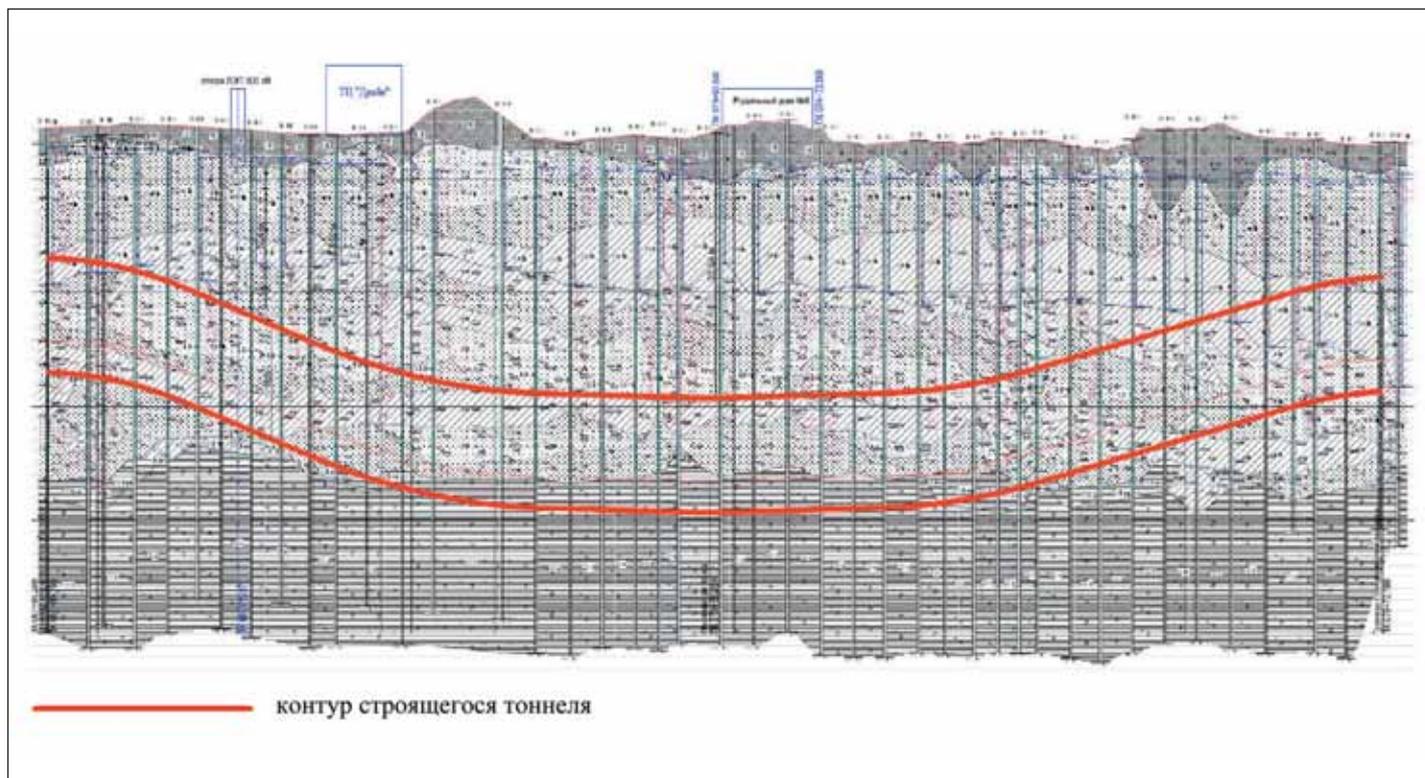


Рис. 3. Инженерно-геологический разрез от ст. «Косино» до ст. «Юго-Восточная»

щений более чем 40 зданий и сооружений, а также данным мониторинга земляного полотна и опор контактной сети объектов инфраструктуры Российских железных дорог.

### Выводы

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы.

1. Принятые методики прогноза деформаций дневной поверхности и окружающей застройки при строительстве тоннелей закрытым способом в дисперсных грунтах, описанные в нормативной и справочной литературе, не соответствуют фактическим значениям, выявленным по результатам мониторинга.

2. Использование завышенных значений коэффициента перебора грунта приводит не только к увеличению затрат на геотехнический мониторинг, но и влечет за собой разработку и реализацию дорогостоящих мероприятий по компенсации дополнительных деформаций, требующих в свою очередь значительного увеличения срока производства работ.

3. В ходе работы установлено, что величина коэффициент перебора в скальных грунтах находится в интервале значений от 0,3 до 1,1, что до настоящего момента не было отражено в отечественной литературе и является предметом изучения в настоящей работе.

4. По результатам анализа расчетных данных коэффициент перебора в дисперсных грунтах находится в интервале значений от 0,8 до 1,8. В рамках рассматриваемой методики предлагается систематизация данных значений в зависимости от вида решаемой задачи, типа грунтов и диаметра ТПМК.

5. В результате анализа эмпирических данных выявлены три случая, которые могут повлечь за собой значительное увеличение деформаций окружающей застройки в сравнении с прогнозируемыми значениями:

- остановка ТПМК;
- прохождение через бывшее русло реки или линзу водонасыщенных песков;
- прохождение в геологических условиях, когда грунты в забое ТПМК представлены следующим сложением: верхний пласт – песок водонасыщенный, нижний – связанный грунт; в данном случае, кроме введения повышающего значения перебора коэффициента запаса, необходимо выполнить детальную проработку регламента на проходку с диаграммой грунтопригрузки и предусмотреть увеличение цикличности мониторинга.

6. Использование данного метода расчета оценки влияния от закрытой проходки позволило за последний год оптимизировать и отменить противоваарийные мероприятия более чем на 1 млрд руб. Правильность данных расчетов была подтверждена результатами фактического мониторинга при строительстве тоннелей.

### Список литературы

1. Федунец Б. И., Бойко Ф. А. Строительство перегонных тоннелей современными ТПМК при проходке в сложных гидрогеологических условиях участков Митинско-Строгинской линии Московского метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 7. С. 21–27.
2. Безродный К. П., Лебедев М. О. О нагрузках от горного давления на обделки тоннелей закрытого способа работ // Записки Горно-

го института. 2017. Т. 228. С. 649–653. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.649.

3. Ильичев В. А., Никифорова Н. С., Готман Ю. А., Туников М. М., Трофимов Е. Ю. Анализ применения активных и пассивных методов защиты существующей застройки при подземном строительстве // Жилищное строительство. 2013. № 6. С. 25–27.

4. Меркин В. Е., Самойлов В. П. Руководство по проектированию и строительству тоннелей щитовым методом. Перевод с англ. М.: «Метро и тоннели». –2009. –208 с.

5. Moller S. C., 2006. Tunnel induced settlements and structural forces in linings. D.Sc. Thesis, University of Stuttgart, Stuttgart, Germany.

6. Тер-Мартirosян А. З., Бабушкин Н. Ф., Исаев И. О., Шишкина В. В. Определение расчетного коэффициента перебора грунта путем анализа данных мониторинга // Геотехника. 2020. Том XII. № 1. С. 6–14.

7. Тер-Мартirosян А. З., Исаев И. О., Алмакаева А. С. Определение фактического коэффициента перебора (участок «Стахановская улица» – «Нижегородская улица») // Вестник МГСУ. 2020. Том 15. Вып. 12. С. 1644–1653.

8. Тер-Мартirosян А. З., Кивлюк В. П., Исаев И. О., Шишкина В. В. Определение фактического коэффициента перебора в скальных грунтах // Жилищное строительство. 2021. № 9. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-9-3-9>.

### Для связи с авторами

Бабушкин Николай Федорович  
Исаев Илья Олегович  
isaevio@mosinzhpoeekt.ru  
Филаретов Николай Александрович  
Шишкина Виктория Владимировна  
shishkina.vv@mosinzhpoeekt.ru



# ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАНЦИИ «СОСНОВАЯ ПОЛЯНА» ПОД КАНАЛИЗАЦИОННЫМ КОЛЛЕКТОРОМ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ

## DESIGN OF THE STATION «SOSNOVAYA POLYANA» UNDER THE CITY SEWER COLLECTOR IN ST. PETERSBURG

И. Я. Дорман, д. т. н., В. Р. Власюк, Д. Н. Слизов, Д. А. Павловский, АО «Метротранс»

I. Ya. Dorman, Dr. Sci. (Engineering), V. R. Vlasyuk, D. N. Slizov, D. A. Pavlovskiy, JSC «Metrogiprotrans»

Проектируемая станция метрополитена «Сосновая поляна» в Санкт-Петербурге расположена практически соосно под действующим канализационным коллектором диаметром 3,9 м. В связи с этим, в проектной документации и последующем строительстве станции необходимо предусмотреть технологические мероприятия при проходке для обеспечения минимальной осадки канализационного коллектора и его безаварийной работы, основанные на рекомендациях, некоторые из которых излагаются в статье.

*The planned metro station «Sosnovaya Polyana» in St. Petersburg is located almost coaxially under the existing sewer collector with a diameter of 3.9 m. In this regard, in the design documentation and subsequent construction, it is necessary to provide technological measures to ensure minimum sedimentation for trouble-free operation, the main recommendations of which are set out in the article.*

**В** Санкт-Петербурге предусмотрено развитие Красносельско-Калининской линии метрополитена от существующей станции «Кировский завод» и строящегося участка за ней станции «Казаковская» («Юго-Западная») до проектируемой конечной станции «Сосновая Поляна».

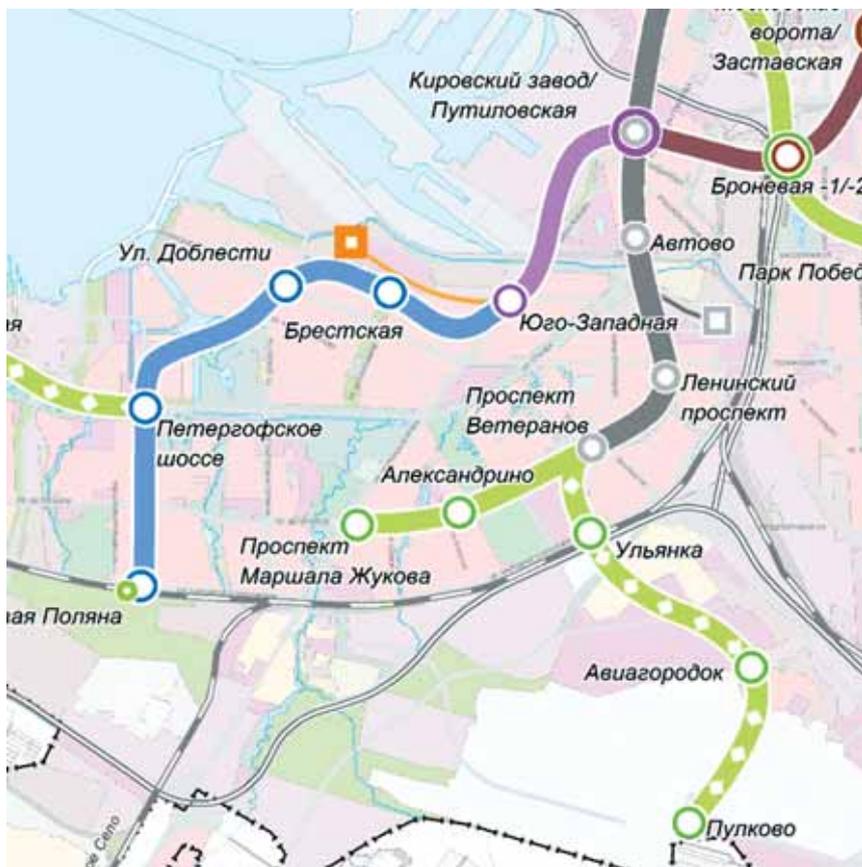


Рис. 1. Проектируемый участок Красносельско-Калининской линии метрополитена

На всем протяжении этого участка предусмотрено строительство четырех станций: «Брестская», «Улица Доблести», «Петергофское шоссе», «Сосновая Поляна» (рис. 1).

Район размещения ст. «Брестская» – пересечение Брестского бульвара и ул. Маршала Казакова.

Один вестибюль станции метро «Улица Доблести» расположен в районе пересечения Ленинского пр. и ул. Доблести. Второй, перспективный вестибюль станции расположен ближе к пересечению ул. Доблести с ул. Маршала Захарова.

Один вестибюль станции «Петергофское шоссе» расположен в зеленой зоне между основной проезжей частью Петергофского шоссе и местным проездом, проходящим вдоль линии застройки района «Балтийская жемчужина» вблизи пересечения Петергофского шоссе с ул. Адмирала Трибуца. Другой вестибюль станции «Петергофское шоссе» расположен в районе пересечения ул. Пограничника Гарькавого с ул. Чекистов.

Конечная станция «Сосновая Поляна» и южный подземный вестибюль расположены в районе пересечения ул. Пограничника Гарькавого и пр. Народного Ополчения.

Перспективный северный вестибюль станции «Сосновая Поляна» расположен вдоль линии застройки на ул. Пограничника Гарькавого (рис. 2).

Станция сооружается на глубине более 45 м в глинах твердых, мощность которых над сводом составляет более 20 м. Параллельно платформенной части станции также вдоль улицы Пограничника Гарькавого на глубине 15 м размещен городской канализационный коллектор в тоннеле диаметром 4,9 м (на рис. 2 обозначен красным цветом).

Взаиморасположение в профиле станции, вестибюля и канализационного коллектора показано на рис. 3.

Показатели физико-механических свойств грунтов получены по результатам исследований,



Рис. 2. План размещения вдоль ул. Пограничника Гарькавого станции и вестибюлей «Сосновая Поляна» (красным цветом обозначена трасса канализационного коллектора)

проведенных в грунтово-химической лаборатории АО «Метрогипротранс», согласно действующим ГОСТам, по результатам полевых исследований грунтов, нормативных документов и архивных материалов.

В геологическом строении участка предполагаемого строительства принимают участие отложения четвертичной системы: современные техногенные образования (tQIV), озерно-морские отложения (mlQIV), позднеледниковые отложения (lgQIIIvd), а также коренные породы вендских отложений (Vkt2).

В ходе проведения изысканий были вскрыты два водоносных горизонта:

- четвертичный водоносный горизонт. На данном участке он вскрыт на глубине 2,0 м, приурочен к песчаным отложениям. Горизонт безнапорный;
- вендский водоносный горизонт. Горизонт имеет напорный характер, не выдержан, приурочен к прослоям песчаников в вендских глинах; на данном участке вскрыт на глубинах 14,0 м; 20,9 м; 29,0 м. Максимальная величина напора достигает 26,0 м.

Следует отметить, что в периоды гидрогеологических максимумов (периоды выпадения обильных осадков, период снеготаяния, утечки из водонесущих коммуникаций) возможно образование локальных водоносных горизонтов в необходимых на момент инженерно-геологических изысканий грунтах.

По степени сложности инженерно-геологические условия территории предполагаемого строительства характеризуются как

сложные – III категории (СП47.13330.2016, приложение Г). Геотехническая категория – 3 (СП 22.13330.2016, п. 4.6).

Физико-механические характеристики грунтов показаны в таблице.

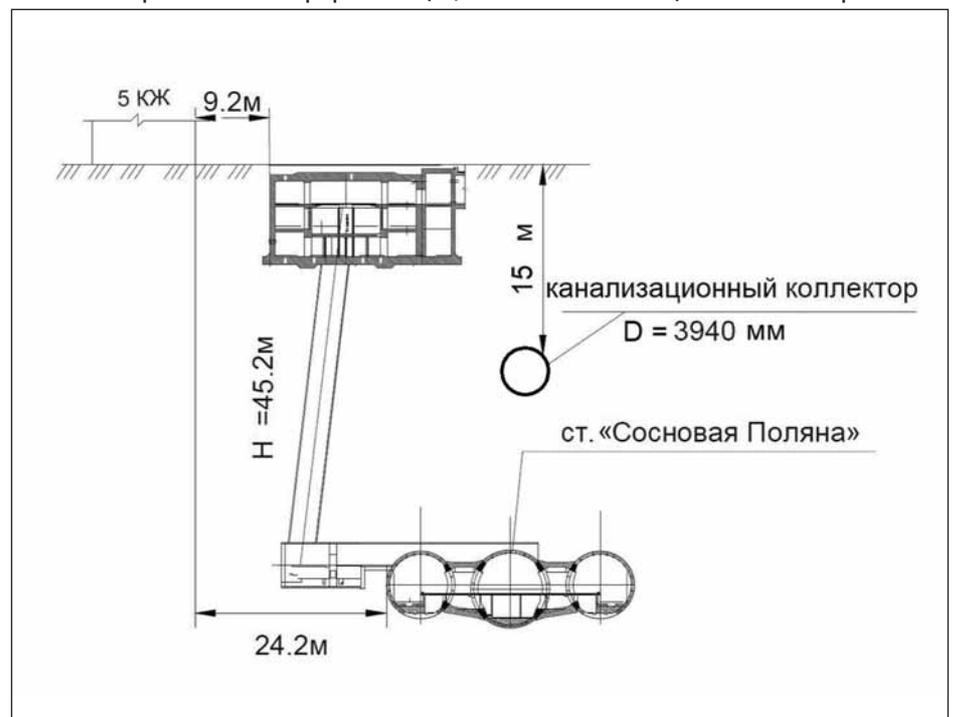
В строительстве станционного комплекса «Сосновая Поляна» входит сооружение закрытым способом платформенного участка, пристанционных сооружений – санузла, блока технологических помещений (БТП), тягово-понижительной подстан-

ции (ТПП), строительство двух наклонных ходов и двух вестибюлей.

Станция расположена на прямом участке трассы с вертикальным уклоном  $i = 0,003$ . Междупутье составляет 25,0 м, длина пассажирской платформы 163 м.

Станция сооружается из сборных железобетонных тубингов, применяемых при строительстве метрополитена в Санкт-Петербурге. Конструкция станции – пилонного типа, в которой проемные участки

Рис. 3. Взаиморасположение в профиле станции, вестибюля и канализационного коллектора



Генезис и возраст грунтов	Наименование грунта	Номер ИГЭ	Нормативные значения				
			Влажность природная, $W_e$ , дол.ед.	Коеф-т пористости <sup>1</sup> , $e$ , дол.ед.	Плотность грунта природного сложения, $\rho$ , г/с м <sup>3</sup>	Показатель текучести I, Дол. ед.	Угол вн. трения, град
1	2	3	4	5	6	7	8
tiv	Насыпные грунты: песок средней крупности со строительным мусором до 20%	1 НС	0,250	0,250	–	1,75	–
Iglllvд	Суглинок легкий пылеватый, мягкопластичной консистенции	6/11	0,270	0,270	1,97	0,59	14
gilllz vd	Суглинок серый, с галькой, гравием и щебнем до 10 %, мягкопластичной консистенции	7/9	0,220	0,620	2,04	0,59	18
Vkt2	Глина легкая, твердая, с прослоями песчаника водоносного	14/1	0,200	0,560	1,99	-0,10	15
Vkt2	Глина твердая, с прослоями песчаника водоносного	14/2	0,140	0,560	2,00	-0,42	18
	Песчаник средней прочности, прослоями малопрочный, водоносный	14/5	–	–	–	–	–

Примечания: 1. Нормативные значения для песчаных грунтов и для глинистых грунтов – приводятся в соответствии с СП 22.13330.2016

2. Расчетные значения характеристик определены в соответствии с требованиями п. 5.3.208 СП 22.13330.2016

3. Группа грунтов по трудности бурения в соответствии с ФБР 81-02-04-2001 прил. 4.1 дана для роторного бурения

4. Группа грунтов по 81-02-29-2020 дана для закрытого и открытого способа работ

5. Значение  $E_0$  со знаком приведено по данным статического зондирования

6. Расчетное сопротивление  $R$  принято по рекомендациям СП 22.13330.2016

шириной 3,04 м чередуются с пилонами шириной 11,40 м.

Средний станционный тоннель запроектирован в сборной железобетонной обделке кругового очертания  $D_n = 9,8$  м из бето-

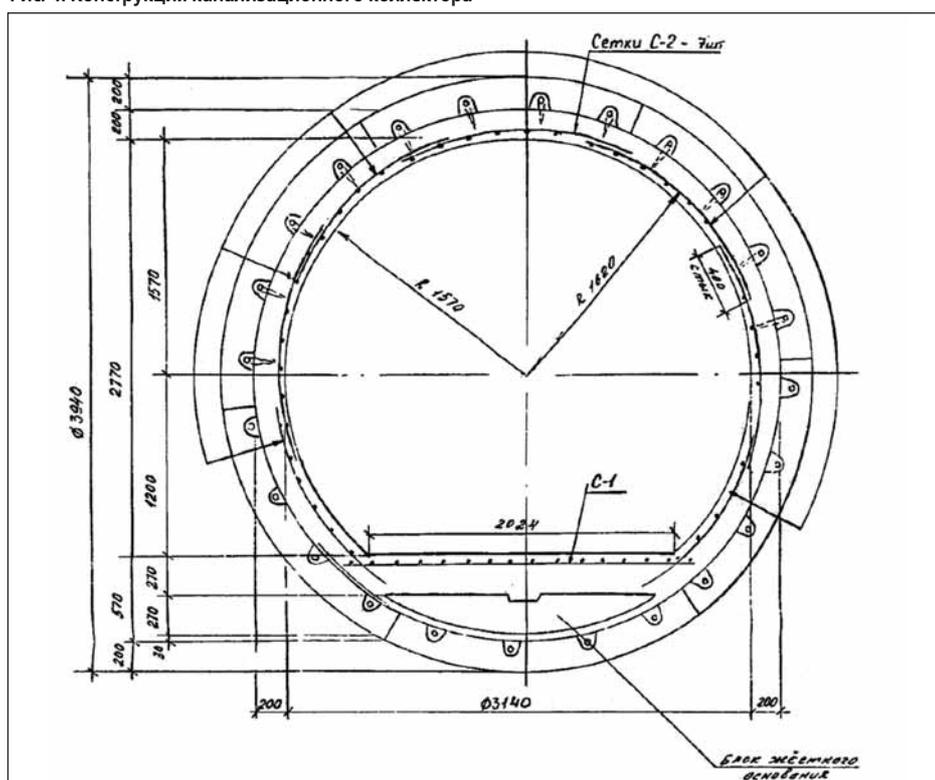
на класса В45 W6 F100, боковые тоннели – из железобетонных тюбингов обделки  $D_n = 8,5$  м из бетона класса В45 W6 F100 и плоских лотковых блоков из железобетона класса В30÷В45 W6 F100. В местах проемов

при сборке колец устанавливаются стальные литые тюбинги. При раскрытии проемов возводятся монолитные железобетонные пилястры из бетона класса В25 W6 F100 с двух сторон от проема, на них устанавливаются сварные балки заводского изготовления из низколегированной спокойной стали 09Г2С. Балки фиксируются в проектом положении посредством приварки к закладным деталям, устанавливаемым в пилонах и между кольцами обделки. Зазоры между стальными балками и тюбингами обделки забиваются металлорезом. Внутренние полости литых тюбингов и балок заполняются цементно-песчаным раствором М100. Между средним и боковыми тоннелями возводятся монолитные железобетонные ходки из бетона класса В25 W6 F100.

В подплатформенных помещениях среднего зала станции располагаются служебные помещения. Под боковыми платформами предусмотрены кабельные коллекторы, имеющие кабельные шахты в торцах платформы для вывода коммуникаций в перегонные тоннели. Участки боковых станционных тоннелей за пределами пассажирской платформы предназначены для размещения технологического оборудования и коммуникаций. Кроме того, в торцах боковых станционных тоннелей предусмотрены помещения укрытия МГН.

Внутренние конструкции платформенного участка станции возводятся из монолитного железобетона класса В25 F100.

Рис. 4. Конструкция канализационного коллектора



Таблица

		Расчетные значения						Модуль деформации, Е0, МПа
Сцепление, с, МПа	Плотность сухого грунта, ρ, г/см <sup>3</sup>	По несущей способности			По деформации			
		Плотность грунта природного сложения, ρ I, г/см <sup>3</sup>	Угол вн. трения, град.	Сцепление, с I, МПа	Плотность грунта природного сложения, ρ II, г/см <sup>3</sup>	Угол вн. трения II, град.	Сцепление, с II, МПа	
9	10	11	12	13	14	15	16	17
–	1,40	1,70	23	0,010	R = 144кПа			–
0,015	1,55	1,97	14	0,015	1,97	14	0,015	6,5*
0,018	1,67	2,04	17	0,018	2,04	18	0,018	9*
0,040	1,66	1,91	13	0,027	1,94	15	0,04	60
0,056	1,74	1,93	16	0,051	1,96	17	0,053	90
–	–	2,16	–	–	–	–	–	–

Плита платформы принята толщиной 150 мм и опирается на продольные стены толщиной 150–200 мм и на опоры из монолитного железобетона, выполненные в железобетонных тубингах обделки. Предусматривается металлоизоляция в перекрытиях над щитовыми, помещениями СЦБ и связи.

Помещения санузла и БТП расположены в трех уровнях. В уровне платформы и в верхнем уровне размещены служебные и технологические помещения, в нижнем уровне – кабельный коллектор, а также насосная станция и фекальный бак санузлов. В помещениях верхнего уровня запроектированы стальные водозащитные зонты.

Внутренние конструкции санузла и БТП возводятся из монолитного железобетона класса В25 F100. Междуетажные перекрытия запроектированы как балочные плиты толщиной 150 мм с балками 300×400 (h) и опираются в середине на квадратные колонны сечением 300×300 мм, а по краям – на опоры из монолитного железобетона, выполненные в железобетонных тубингах обделки. Стены лестничных клеток приняты толщиной 200–250 мм, лестничные марши и площадки запроектированы из монолитного железобетона.

В конце санузла к верхнему уровню примыкает ходок к прикамерке сантехнической скважины, запроектированный из монолитного железобетона класса В20 W6 F100. В прикамерке возводится монолитный железобетонный упор для затвора. Внутренняя поверхность прикамерки до упора затвора и упор затвора со стороны скважины покрываются гидроизоляционным составом «Idrosilex Pronto» фирмы «МАРЕИ».

Наклонные ходы для тоннельных эскалаторов, соединяющие платформенный участок и вестибюли, запроектированы в обделке кругового очертания из чугунных тубингов.

В наклонных ходах монтируются сборные железобетонные плиты, опирающиеся на монолитные железобетонные опоры, выполненные в чугунных тубингах обделки. На сборных плитах возводятся монолитные железобетонные опоры под фермы эскалаторов. Под плитами в нижней части наклонных ходов предусмотрены технологические коллекторы. Между фермами эскалаторов и сбоку, вдоль обделки, предусмотрены проходы в подбалюстрадном пространстве. В проходах, а также в технологическом коллекторе устраиваются лестницы.

Тягово-понижительная подстанция запроектирована в междупутье за торцом санузла в сборной железобетонной обделке Дн = 8,5 м из бетона класса В45 W6 F100.

Внутренние конструкции ТПП возводятся из монолитного железобетона класса В25 F100. Междуетажные перекрытия запроектированы как балочные плиты толщиной 150 мм с балками от 300×300 (h) до 400×400 (h) мм и опираются на квадратные колонны сечением 300×300 мм или на стены толщиной 200 мм, а по краям – на опоры из монолитного железобетона, выполненные в железобетонных тубингах обделки.

Вестибюли представляют собой трехпролетную рамную конструкцию с фундаментом в виде плиты на естественном основании.

Котлованы под вестибюли расположены в глинах твердых и полутвердых на глуби-

не 8 м от поверхности в вестибюле № 1 и на глубине 12 м от поверхности в вестибюле № 2. Так как водоупор (глины твердые и полутвердые) встречается выше дна котлованов, заглубление ограждающих конструкций ниже дна котлована не будет превышать 5–6 м.

Фунтовое основание под подошвой фундаментной плиты вестибюлей – глины твердые и полутвердые, связные, мало сжимаемые.

Документация по планировке территории и размещению ст. «Сосновая Поляна» вдоль ул. Пограничника Гарькавого была согласована с Исполнительными органами государственной власти (ИОГВ) Санкт-Петербурга: Комитетом по вопросам законности, правопорядка и безопасности (КВЗПБ); Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП); Комитетом по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга (КРТИ); Комитетом по транспорту (КТ); Комитетом по благоустройству Санкт-Петербурга (КБ) и передана на согласование в Комитет по энергетике и инженерному обеспечению (КЭИО).

В заключении КЭИО на основании мнения подведомственного ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» был представлен отказ в согласовании с мотивировкой возможного негативного воздействия строительства станции на канализационный коллектор, размещенный, как указано выше, также вдоль ул. Пограничника Гарькавого на глубине 14–15 м от поверхности.

Коллектор, сооруженный в 1984 г. (рис. 4), выполнен из железобетонной круговой об-

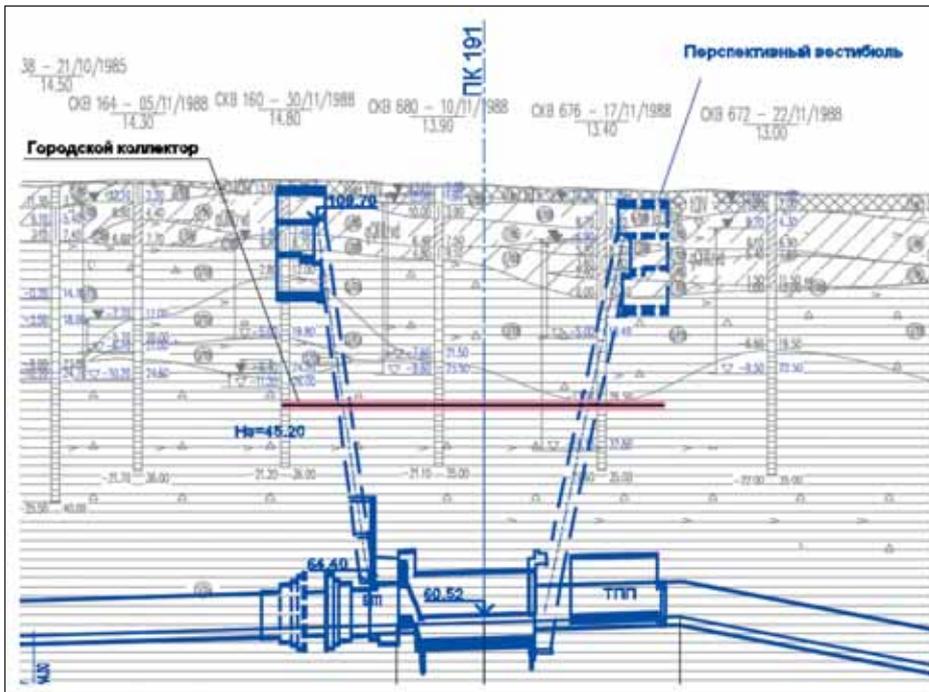


Рис. 5. Взаиморасположение в профиле канализационного коллектора и станции

делки диаметром 3,9 м, толщиной блоков 40 см, имеет внутреннюю железобетонную рубашку толщиной 20 см и лоток из блоков жесткого основания.

В заключении КЭИО отмечалось, что строительство станции метрополитена непосредственно под коллектором в плане (рис. 5), хотя и на большей глубине, может привести к просадке канализационного коллектора. Были прописаны требования, что для возможности согласования посадки станции необходимо получить заключение ГУП «Ленгипроинжпроект» – автора проекта канализационного коллектора, а также представить расчеты о влиянии при строительстве станции метрополитена на тоннельный канализационный коллектор.

ГУП «Ленгипроинжпроект» рассмотрел представленные АО «Метрогипротранс» материалы, в том числе оценку напряженно-деформированного состояния канализационного коллектора при строительстве станции (см. статью А. А. Стародумова и др. в настоящем номере журнала «Влияние строительства станционного комплекса «Сосновая Поляна» в Санкт-Петербурге на канализационный коллектор») и представил положительное заключение.

В положительном заключении ГУП «Ленгипроинжпроект» отмечено, что «сооружение станции закрытым способом на глубинах 45–48 м в грунтах плотных кембрийских глин позволит обеспечить устойчивое сводообразование над шельгой конструкции станции, исключая при этом какие-либо осадки толщи грунта. Соответственно деформаций тоннельного канализационного коллектора, расположенного над конструкцией станции на расстоянии 18–20 м, не ожидается».

Первоначально предполагалось размещение вестибюля по оси станции (над канали-

зационным коллектором) на фундаментной плите, перераспределяющей нагрузку на грунт основания (глины твердые и полутвердые, связанные и малосжимаемые).

Тем не менее, АО «Метрогипротранс» по просьбе ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» изменило плановое размещение южного вестибюля над осью канализационного коллектора, в том числе в откорректированной документации ствол наклонного тоннеля отнесен на максимально возможное в существующих градостроительных условиях поверхности (наличие жилого дома на поверхности) расстояние 20 м в плане (см. рис. 3).

В КЭИО также было представлено заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» о том, что строительство станционных сооружений (платформенный участок, БТП, СТП) будет вестись закрытым способом в устойчивых глинах нижнекембрийских отложений, с применением технологии проходки участков станционных «пилот-тоннелей» современными тоннелепроходческими механизированными комплексами.

Данная технология сооружения станции позволяет максимально исключить негативное воздействие на деформированное состояние грунтового массива, вмещающего коллектор, и, соответственно, обеспечить сохранность его конструкций на период строительства станционных сооружений метрополитена.

Рекомендации и замечания КЭИО и ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», а также мнения других участников совещаний по данному вопросу в КРТИ, были приняты АО «Метрогипротранс» во внимание, и в проектной документации прописаны дополнительные мероприятия для обеспечения безопасной проходки станционных

тоннелей «Сосновая Поляна» под эксплуатируемым канализационным коллектором, а именно:

- организация горно-экологического мониторинга в процессе строительства, в первую очередь организация контроля глубинных деформаций массива на время производства работ;
- обеспечение давления пригруза в процессе проходки на уровне не ниже рекомендуемых в проекте значений для максимального сохранения естественного состояния массива;
- осуществление нагнетания бентонитового раствора в защитное пространство головной части ТПК через порты вырыска, расположенные в сводовой передней части щита для компенсации возможного грунтового перебора, который образуется при разработке породы между корпусом головной и средней частями щита и сводом выработки;
- ведение щитовой проходки равномерно с заданными скоростями, без остановок с целью снижения деформаций и осадок поверхности. При остановке щитового комплекса по каким-либо причинам, должна быть прекращена разработка и отбор грунта для предотвращения переборов;
- осуществление контроля качества сборки обделки в зоне монтажа и после ее схода с оболочки щита, а также исключение образования трещин в блоках в процессе монтажа обделки и при передвижке;
- обеспечение точного ведения щита по трассе с минимальными отклонениями от проектных отметок в процессе проходки, т. к. корректировка положения (возвращения щита на проектную трассу), как правило, приводит к возникновению переборов грунта;
- выполнение горнопроходческих работ по скользящему графику (без выходных), избегая остановок щита.

В настоящее время откорректированная документация повторно согласована Комитетом по вопросам законности, правопорядка и безопасности (КВЗПБ), Комитетом по государственному контролю, использованию и охране памятников истории и культуры (КГИОП), Комитетом по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга (КРТИ), Комитетом по транспорту (КТ); Комитетом по благоустройству Санкт-Петербурга (КБ).

#### Ключевые слова

Станция метрополитена, канализационный коллектор, деформации.

*Subway station, sewer collector, deformations.*

#### Для связи с авторами

Дорман Игорь Яковлевич  
dorman@metrogiprotrans.com  
Власюк Владимир Романович  
vlasukv@metrogiprotrans.com  
Слизов Денис Николаевич  
d.slizov@gmail.com  
Павловский Дмитрий Александрович  
PavlovskiyD@metrogiprotrans.com



# ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СТАНЦИОННОГО КОМПЛЕКСА «СОСНОВАЯ ПОЛЯНА» В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ НА КАНАЛИЗАЦИОННЫЙ КОЛЛЕКТОР

## THE IMPACT OF THE CONSTRUCTION OF THE STATION COMPLEX «SOSNOVAYA POLYANA» IN ST. PETERSBURG ON THE SEWER COLLECTOR

А. А. Стародумов, Т. А. Марченков, А. В. Давыдов, А. Л. Левитин, Научно-исследовательский центр АО «Метроригипротранс»

A. A. Starodumov, T. A. Marchenkov, A. V. Davydov, A. L. Levitin, Research Center of JSC «Metrogiprotrans»

В настоящей статье изложены результаты расчетов влияния строительства комплекса станции «Сосновая Поляна» Красносельско-Калининской линии Петербургского метрополитена от станции «Казакская» до станции «Сосновая Поляна» в районе ул. Пограничника Гарькавого на эксплуатацию канализационного коллектора, расположенного в зоне строительства.

*This article presents the results of the impact of the construction of the Sosnovaya Polyana station complex of the Krasnoselsko-Kalininskaya line of the St. Petersburg Metro from the Kazakovskaya station to the Sosnovaya Polyana station near the Pogranichnika Gar'kavogo Street on the operation of the sewer collector located in the construction zone.*

### Общие сведения

Подробная информация о строительстве комплекса станции «Сосновая Поляна», в том числе инженерно-геологические условия, изложены в статье И. Я. Дормана и др. «Проектирование станции «Сосновая Поляна» под канализационным коллектором в Санкт-Петербурге» в этом номере журнала.

Станция «Сосновая Поляна» сооружается закрытым способом на глубине 45–48 м над шельгой свода. Станция с двумя вестибюлями. Вестибюли строятся в открытых котлованах глубиной 15–16 м. Из вестибюлей на станцию сооружаются эскалаторные тоннели.

Станция сооружается в глинах твердых, мощность которых над сводом составляет не менее 20 м, что обеспечивает устойчивое сводообразование при строительстве.

При сооружении котлованов под вестибюли также встречаются глины твердые и полутвердые на глубине 8 м от поверхности в вестибюле № 1, на глубине примерно 12 м от поверхности в вестибюле № 2. Так как водоупор (глины твердые и полутвердые) встречается выше дна котлованов, заглубление ограждающих конструкций ниже дна котлована не будет превышать 5–6 м.

Вестибюли представляют собой трехпролетную рамную конструкцию с фундаментом в виде плиты на естественном основании. Грунтовое основание под подошвой фундаментной плиты вестибюлей – глины твердые и полутвердые, связные, малосжимаемые.

Строительство станции и вестибюлей предполагается в зоне уже проложенного коллектора диаметром 3,49 м.

Коллектор сооружен в железобетонной обделке щитовым способом на глубине 27–30 м, проходит в глинах твердых.

Расстояние между нижней точкой коллектора и верхней точкой станционной обделки составляет порядка 20 м в глинах твердых, устойчивых, со сводообразованием.

Расстояние между верхней точкой коллектора и подошвой фундамента южного вестибюля составляет не менее 11 м, между верхней точкой коллектора и нижним концом ограждения котлована – не менее 5 м, в глинах твердых и полутвердых, устойчивых.

Расчеты прогнозируемых дополнительных деформаций конструкций канализационного коллектора при строительстве станции «Сосновая Поляна» выполнены с помощью лицензионных геотехнических комплексов: Plaxis 2D 2019 – для 2D расчетов и MIDAS GTS NX – для проведения трехмерных 3D расчетов. Принятые в расчетах значения коэффициентов технологического перебора грунта основаны на общепринятой практике моделирования щитовой проходки и проходки горным способом.

### Влияние на канализационный коллектор строительства в зоне южного вестибюля (рис. 1)

#### 2D-моделирование программой Plaxis 2D 2019

Последовательность фаз, принятая при 2D-моделировании, следующая.

1. Проходка пилот-тоннелей диаметром 6 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,8 %.

2. Сооружение станционных тоннелей диаметром 8,5 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,4 %.

3. Сооружение центрального зала станции диаметром 9,8 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,4 %.

4. Разработка котлована глубиной 16 м под вестибюль № 1.

5. Сооружение наклонного хода диаметром 9,7 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,4 %.

#### Результаты 2D-расчетов

На рис. 2, 3, 4 и 5 показаны смещения грунтового массива и коллектора после сооружения станции, разработки котлована под вестибюль и сооружения наклонного хода. Горизонтальная шкала – расстояние в метрах от нулевой точки. В качестве нулевой точки выбрано положение наклонного хода. Вертикальная шкала – расстояние в метрах от дневной поверхности. Шкала прогнозируемых смещений грунта (в мм) приведена справа от рисунков.

По результатам 2D-расчетов максимальные смещения коллектора после фазы сооружения станции составляют 18 мм.

По результатам 2D-расчетов максимальные смещения коллектора после фазы сооружения станции и разработки котлована под вестибюль составляют 18 мм.

По результатам 2D-расчетов максимальные смещения коллектора после фазы со-

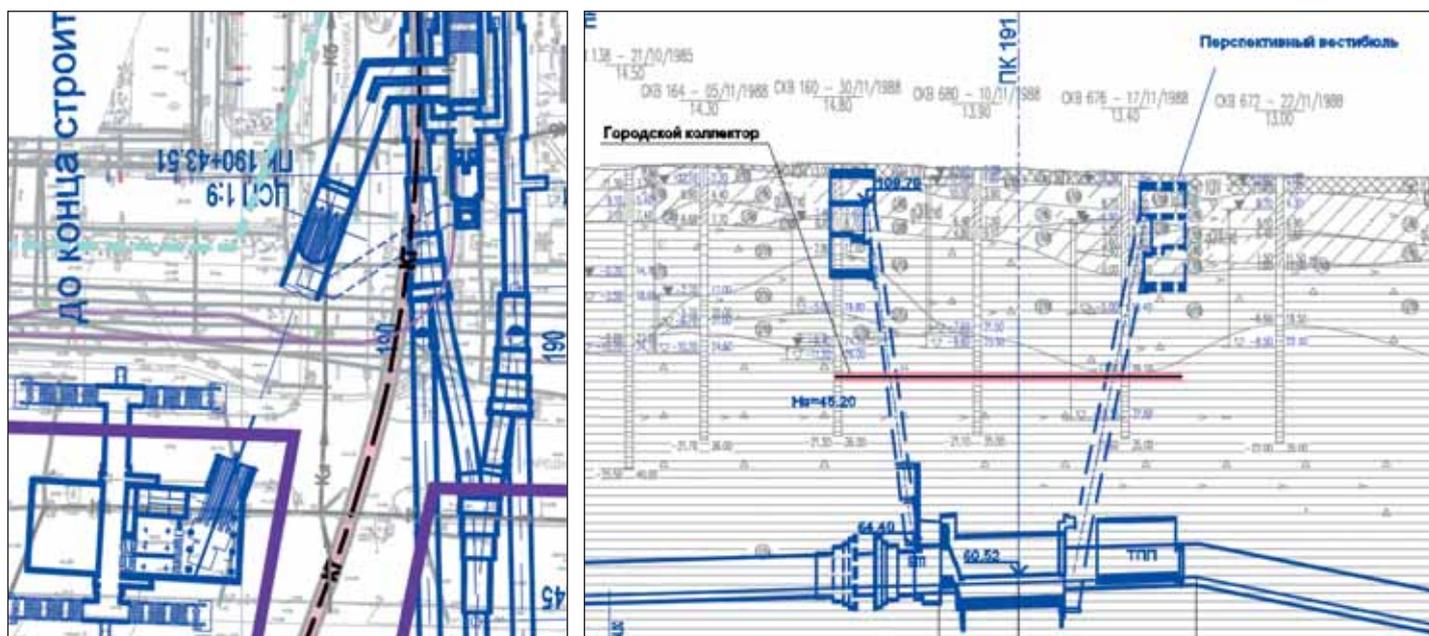


Рис. 1. План и профиль с взаимным расположением сооружаемых конструкций в зоне южного вестибюля и коллектора

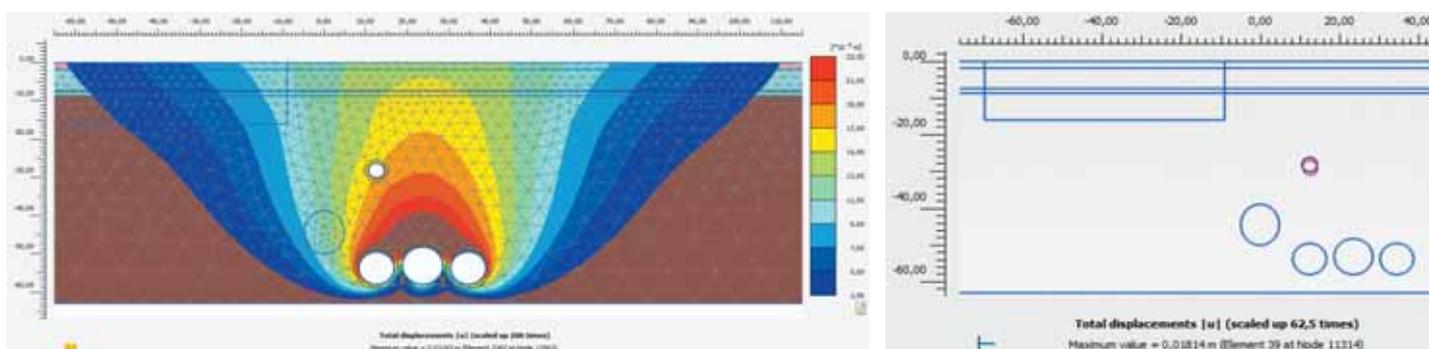


Рис. 2. Смещения грунта и коллектора после сооружения станции

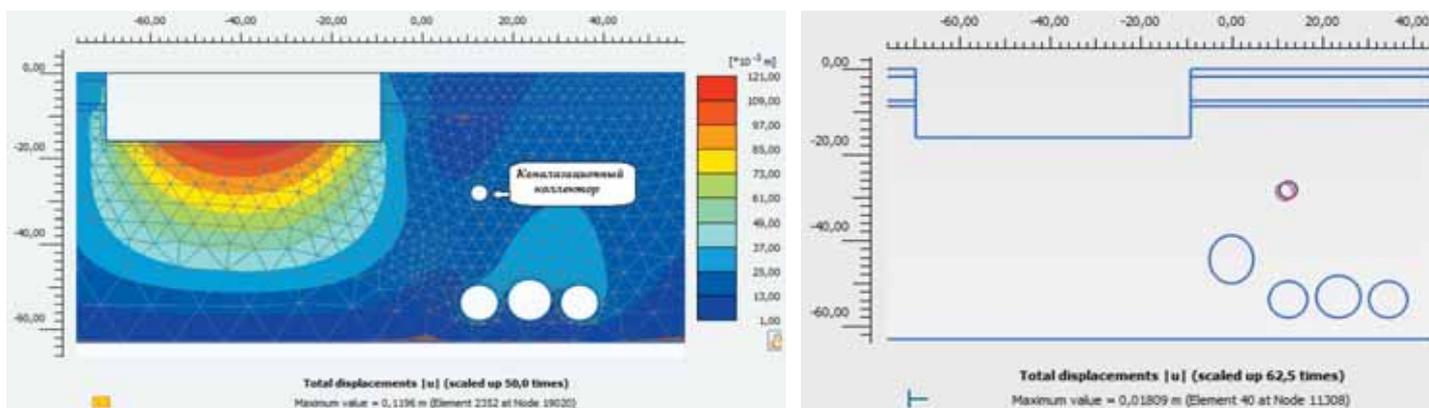
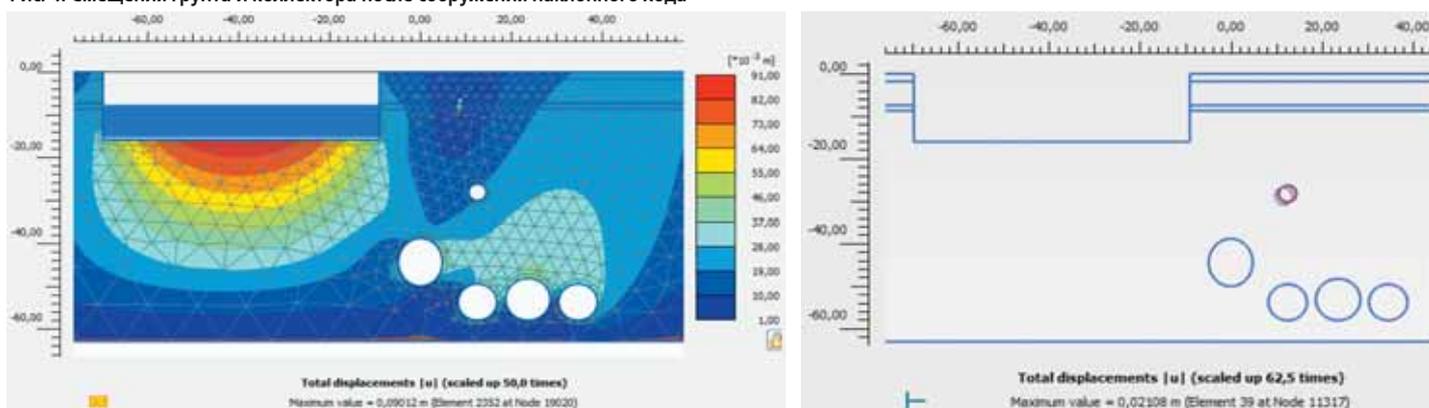


Рис. 3. Смещения грунта и коллектора после разработки котлована под вестибюль

Рис. 4. Смещения грунта и коллектора после сооружения наклонного хода



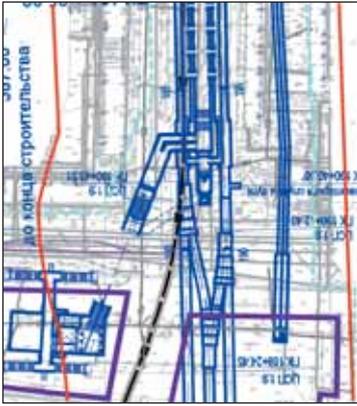


Рис. 5. Зона влияния нового строительства на уровне заглибления коллектора

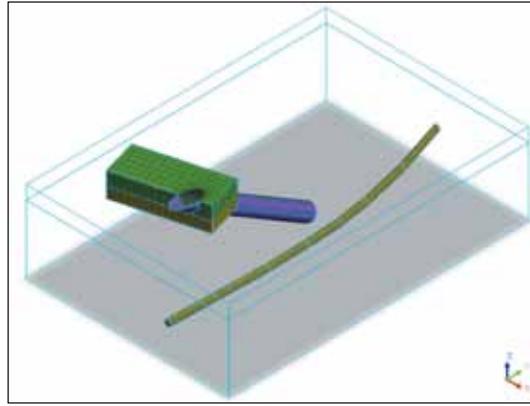
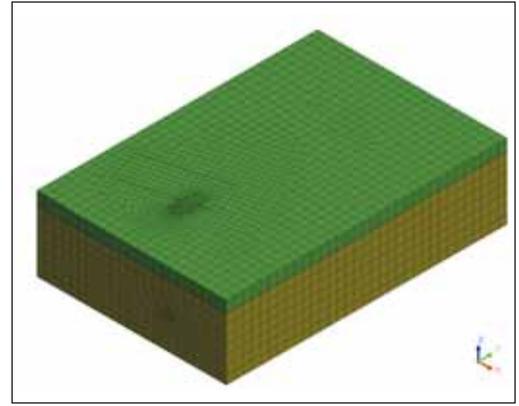


Рис. 6. Общий вид 3D-модели и сетки (на общем виде для наглядности скрыты сетки грунтов), число узлов модели – 35931, число уравнений – 91853



оружения станции, разработки котлована под вестибюль и сооружения наклонного хода составляют 21 мм.

**Проверка раскрытия поперечных трещин и стыков**

Суммарное удлинение участка коллектора можно оценить по формуле:

$$\delta = \sqrt{L^2 + \mu^2} - L,$$

где  $L$  – протяженность коммуникации от точки с наибольшим поперечным смещением до границы зоны влияния;

$\mu$  – максимальное поперечное смещение точек обделки коллектора.

При  $\mu = 21$  мм и  $L = 20$  м суммарное удлинение участка коллектора равно  $\delta = 0,01$  мм, что не превышает минимального предельно допустимого значения  $a_{стр,ult} = 0,1$  мм (п. 8.2.6 СП 63.13330.2018). Таким образом, даже если трещины образуются, но их раскрытие не превышает предельно допустимого значения, так как в десять раз меньше предельно допустимых значений.

Безопасность строительства станционного комплекса и сохранение несущей способности конструкций тоннельного канализационного коллектора обеспечены.

**3D-моделирование в программе MIDAS GTX. Описание 3D-модели. Южный вестибюль (рис. 6)**

Геологическая колонка принята следующей (отметки глубин, м):

Грунт	Верх	Низ	Вода
s_hybrid – смесь грунтов	0	-8,7	Dry
s13/11a – глина	-8,7	-53	Dry

Свойства грунтов и строительных материалов, моделируемых в 3D-постановке, приняты по модели Мора-Кулона следующими:

Грунт	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ , кН/м <sup>3</sup>	$e_0$	$E$ , кН/м <sup>2</sup>	$\nu$	$c$ , кН/м <sup>2</sup>	$\phi^\circ$
s_hybrid	21	21	0,53	10500	0,36	21	21
s13/11a	21,7	21,7	0,48	90000	0,3	50	15

Грунт s\_hybrid смоделирован как смесь трёх слоёв (насыпного, супеси и суглинки), свойства получены усреднением показателей этих слоёв.

Упругие изотропные материалы

Материал	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$E$ , кН/м <sup>2</sup>	$\nu$
Материал наклонного хода	16,43	15877135	0,3
Бетон В25 (для коллектора)	24	$3,00 \cdot 10^7$	0,2
Бетон В25 без веса (для котлована)	0	$3,00 \cdot 10^7$	0,2

Свойства контактных элементов (= интерфейсов соответствующих грунтов):

Грунт	$K_n$ , кН/м <sup>3</sup>	$K_t$ , кН/м <sup>3</sup>	$c_t$ , кН/м <sup>2</sup>	$\phi^\circ$
s13/11a	$1,90E+06$	$1,73 \cdot 10^6$	25	7,6

Интерфейсы наклонного хода и котлована не создавались. Без них перемещения коллектора получаются большими, чем с ними. Таким образом, оценивается худший случай.

Обделки коллектора и наклонного хода моделируются оболочками следующей толщины (см):

Наклонный ход	35,45
Коллектор	15

Последовательность фаз принята следующей:

- НАЧАЛЬНАЯ [ID:1]
- КОЛЛЕКТОР [ID:2]
- КОТЛОВАН [ID:3]
- НАКЛОННЫЙ ХОД [ID:..]
- УСАДКА [ID:5]

Начальное напряженное состояние задается процедурой гравитационного нагружения.

Далее выкапывается коллектор, создается его обделка и интерфейс. На этой же фазе обнуляются перемещения.

На следующей фазе происходит замена свойств грунта в котловане на «невесомый» бетон. Таким образом моделируется откопка котлована без жестких стен, распорок и т. п.

Далее происходит откопка наклонного хода, появляется его обделка. К забою наклонного хода прикладывается распределенная нагрузка (500 кПа).

На последней фазе моделируется усадка обделки наклонного хода (1,6 %).

Всего потребовалось пять фаз расчета.

**Результаты расчетов по 3D-модели (рис. 7 и 8)**

По результатам 3D-расчетов для вестибюля № 1 максимальные перемещения коллектора после усадки обделки наклонного хода равны 6 мм.

**Влияние на канализационный коллектор строительства в зоне северного вестибюля (рис. 9)**

**2D-моделирование программой Plaxis 2D 2019**

Последовательность фаз, принятая при 2D-моделировании, следующая.

1. Проходка пилот-тоннелей диаметром 6 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,8 %.

2. Сооружение станционных тоннелей диаметром 8,5 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,4 %.

3. Сооружение центрального зала станции диаметром 9,8 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,4 %.

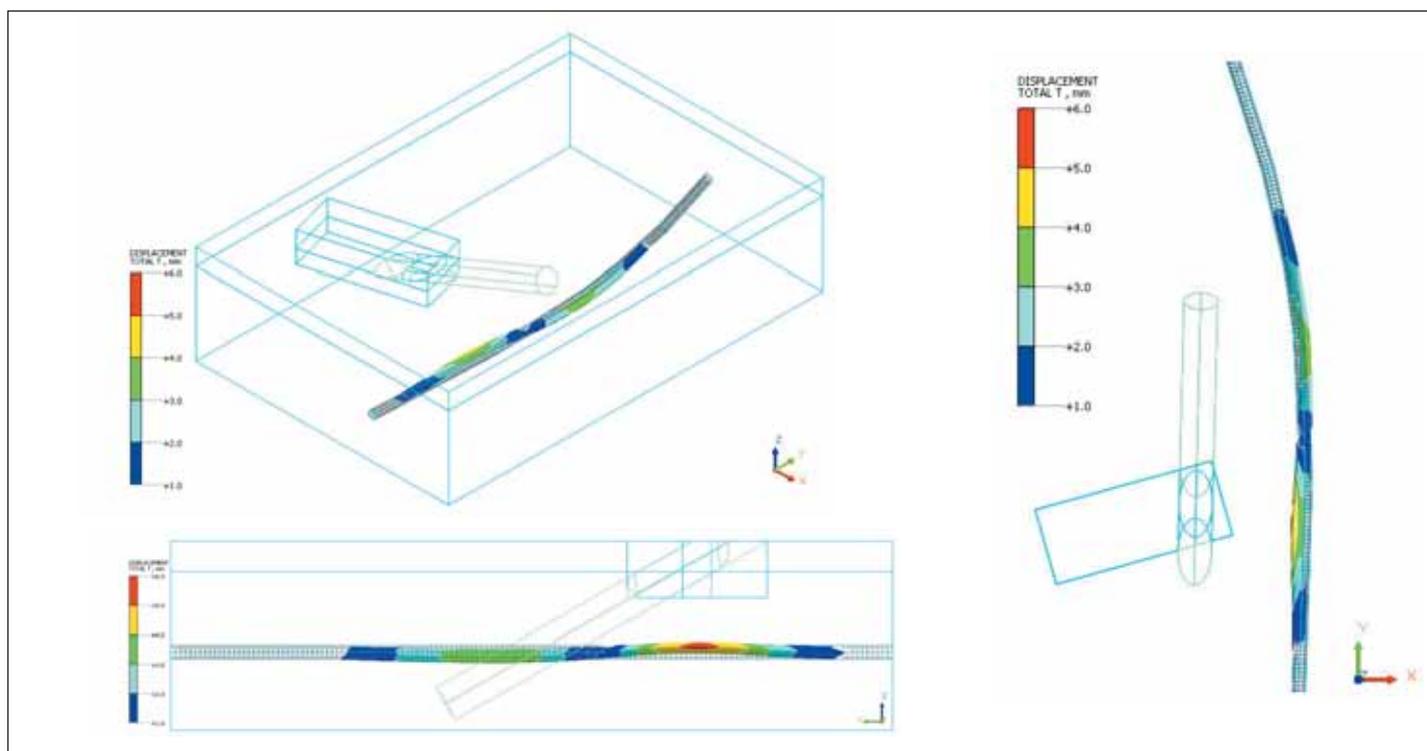


Рис. 7. Общий вид изополей полных перемещений обделки коллектора по окончании расчёта (вид 3D, вид сбоку и вид сверху)

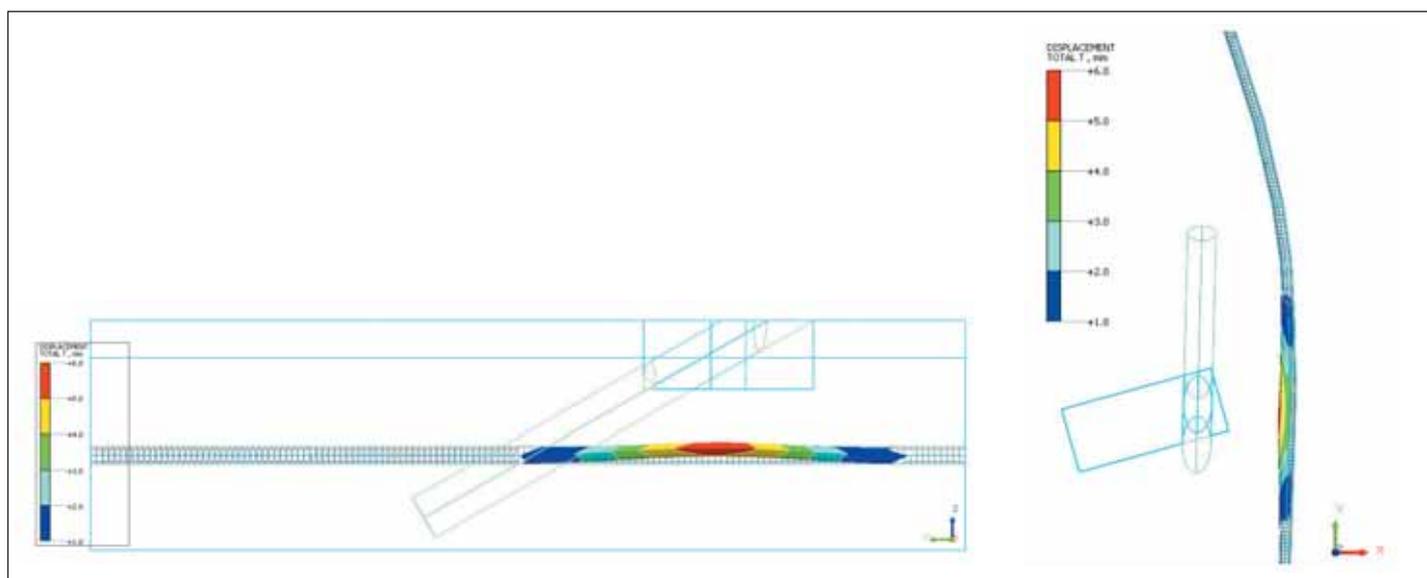
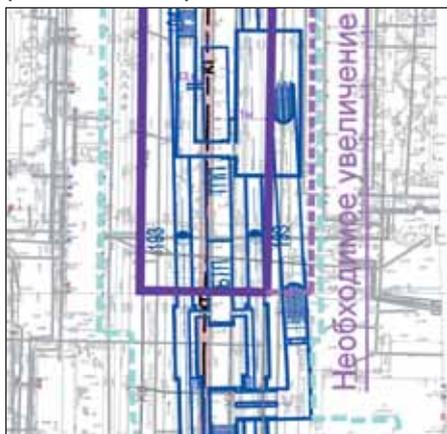


Рис. 8. Общий вид изополей полных перемещений обделки коллектора после фазы экскавации котлована (до проходки наклонного хода и «усадки» его обделки)

Рис. 9. План с взаимным расположением сооружаемых конструкций и коллектора в районе расположения северного вестибюля



4. Разработка котлована глубиной 16 м под вестибюль.

5. Сооружение наклонного хода диаметром 9,7 м. Коэффициент технологического перебора грунта 0,4 %.

#### Результаты 2D-расчетов

На рис. 10, 11, 12 и 13 показаны смещения грунтового массива и коллектора после сооружения станции, разработки котлована под вестибюль и сооружения наклонного хода. Горизонтальная шкала – расстояние в метрах от нулевой точки. В качестве нулевой точки выбрано положение наклонного хода. Вертикальная шкала – расстояние в метрах от дневной поверхности. Шкала прогнозируемых смещений грунта (в мм) приведена справа от рисунков.

Для каждого из объектов «вестибюль + наклонный ход» строилось одно «сборное» перпендикулярное коллектору сечение, приближающее соответствующий вестибюль или наклонный ход на минимальное в плане расстояние к коллектору, что ведет к расчету в запас.

По результатам 2D-расчетов максимальные смещения коллектора после фазы сооружения станции составляют 20 мм.

По результатам 2D-расчетов максимальные смещения коллектора после фазы сооружения станции и разработки котлована под вестибюль составляют 13 мм.

По результатам 2D-расчетов максимальные смещения коллектора после фазы сооружения станции, разработки котлована

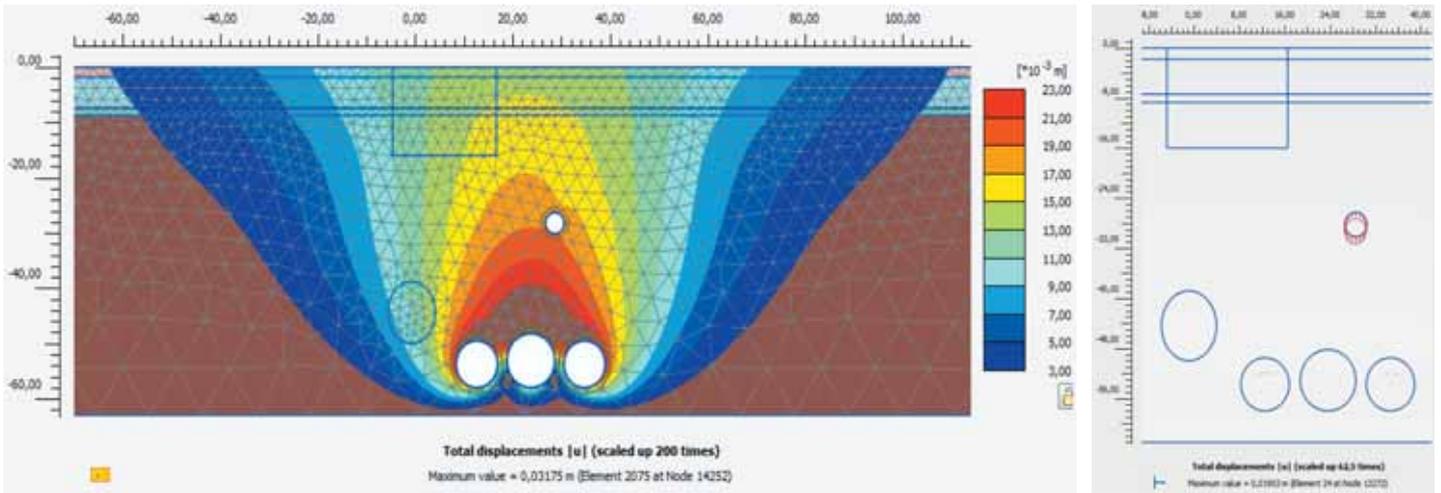


Рис. 10. Смещения грунта после сооружения станции

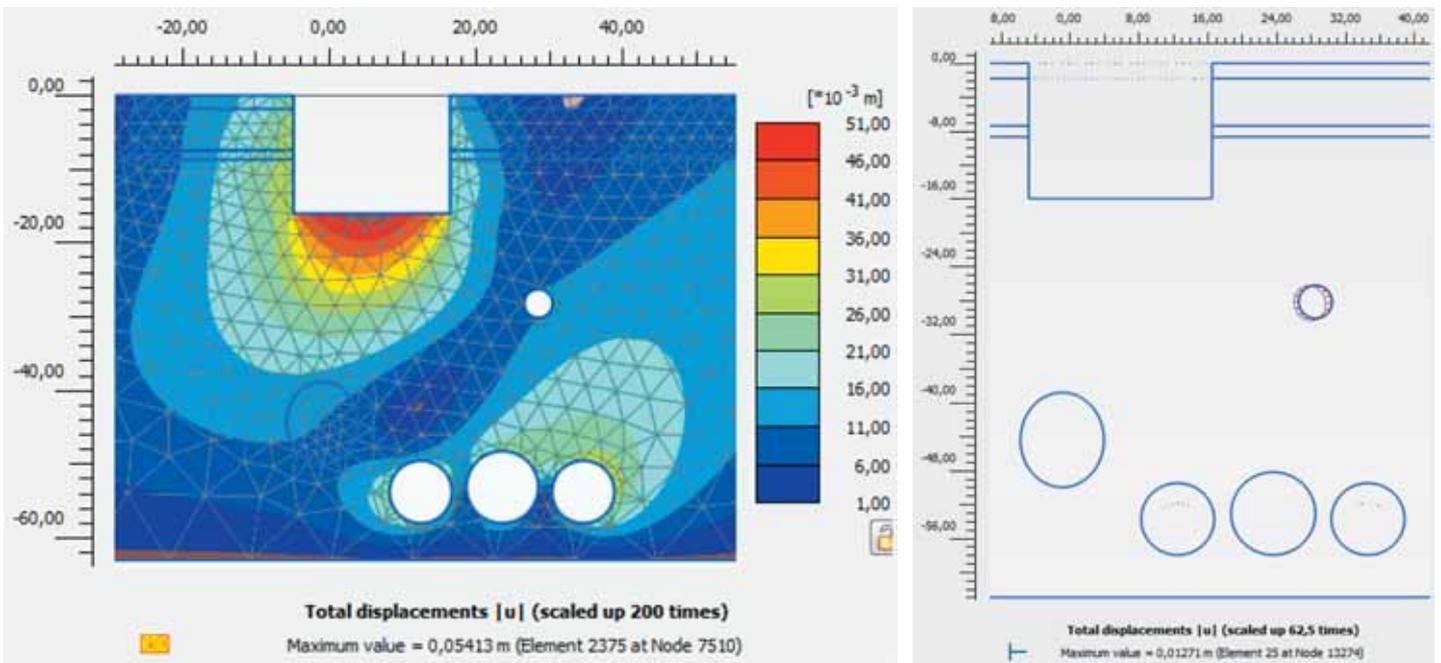
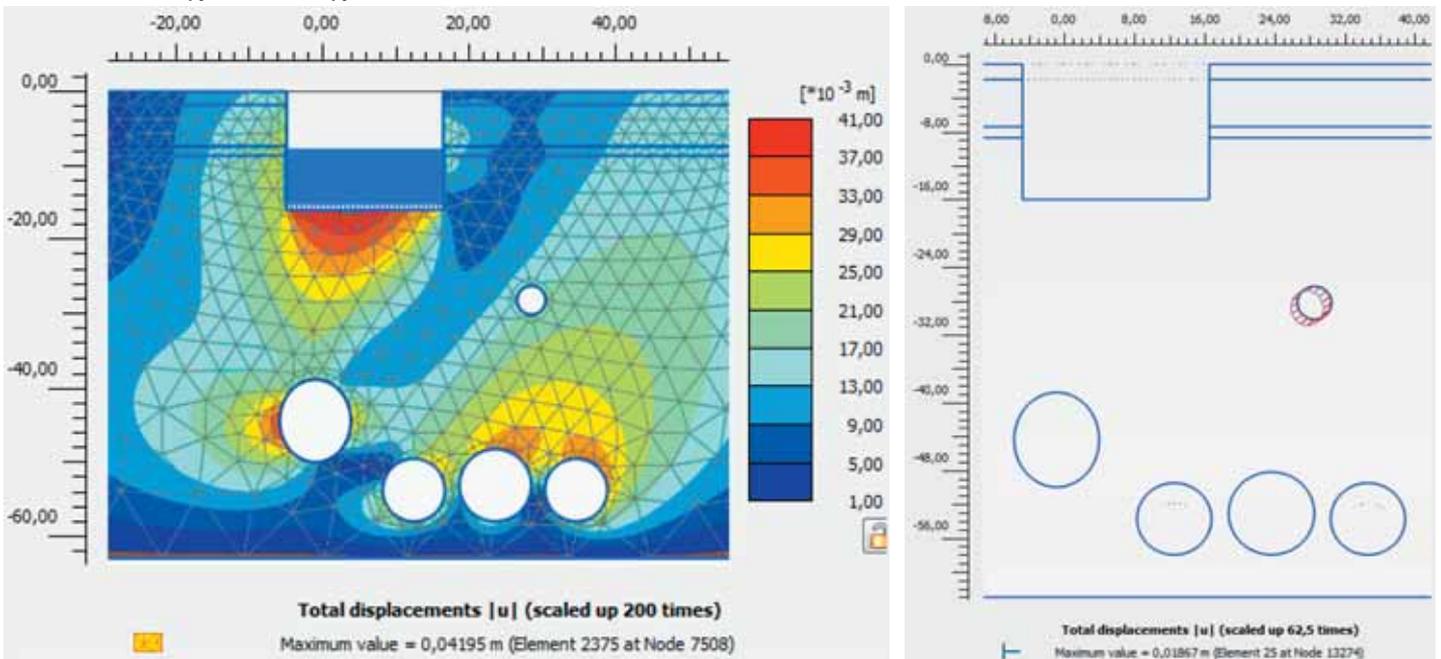


Рис. 11. Смещения грунта после разработки котлована под вестибюль

Рис. 12. Смещения грунта после сооружения наклонного хода



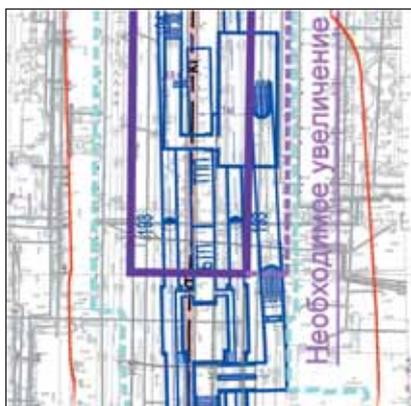


Рис. 13. Зона влияния нового строительства на уровне заглубления коллектора

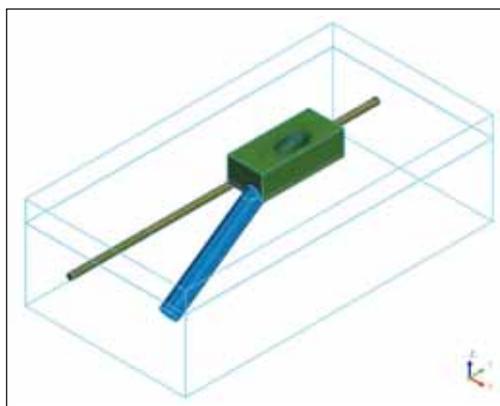
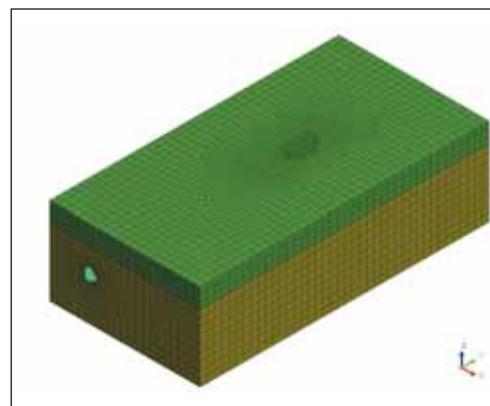


Рис. 14. Общий вид 3D-модели и сетки (на общем виде для наглядности скрыты сетки грунтов), число узлов модели – 98432, число уравнений – 261951



под вестибюль и сооружения наклонного хода составляют 19 мм.

### Проверка раскрытия поперечных трещин и стыков

Суммарное удлинение участка коллектора можно оценить по формуле:

$$\delta = \sqrt{L^2 + \mu^2} - L,$$

где  $L$  – протяженность коммуникации от точки с наибольшим поперечным смещением до границы зоны влияния;

$\mu$  – максимальное поперечное смещение точек обделки коллектора.

При  $\mu = 20$  мм и  $L = 20$  м суммарное удлинение участка коллектора равно  $\delta = 0,01$  мм, что не превышает минимального предельно допустимого значения  $a_{стр,ult} = 0,1$  мм (п. 8.2.6 СП 63.13330.2018). Таким образом, даже если трещины образуются, но их раскрытие не превышает предельно допустимого значения, так как в десять раз меньше предельно допустимых значений.

Безопасность строительства станционного комплекса и сохранение несущей способности конструкций тоннельного канализационного коллектора обеспечены.

### 3D-моделирование в программе MIDAS GTX. Описание 3D-модели. Северный вестибюль (рис. 14)

Геологическая колонка принята следующей (отметки глубин, м):

Грунт	Верх	Низ	Вода
s_hybrid – смесь грунтов	0	-13,4	Dry
s13/11a – глина	-13,4	-60	Dry

Свойства грунтов и строительных материалов, моделируемых в 3D-постановке, приняты по модели Мора-Кулона следующими:

Грунт	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ , кН/м <sup>3</sup>	$e_0$	$E$ , кН/м <sup>2</sup>	$\nu$	$c$ , кН/м <sup>2</sup>	$\varphi^\circ$
s_hybrid	20,3	20,3	0,65	17000	0,36	22	20
s13/11a	21,7	21,7	0,48	90000	0,3	50	15

Грунт s\_hybrid смоделирован как смесь семи слоёв (насыпного, супесей и суглинков), свойства получены усреднением показателей этих слоёв.

Упругие изотропные материалы:

Материал	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$E$ , кН/м <sup>2</sup>	$\nu$
Материалы наклонного хода	16,43	15877135	0,3
Бетон В25 (для коллектора)	24	3,00·10 <sup>7</sup>	0,2
Бетон В25 без веса (для котлована)	0	3,00·10 <sup>7</sup>	0,2

Свойства контактных элементов (= интерфейсов соответствующих грунтов):

Грунт	$K_n$ , кН/м <sup>3</sup>	$K_t$ , кН/м <sup>3</sup>	$c_t$ , кН/м <sup>2</sup>	$\varphi^\circ$
s13/11a	1,90E+06	1,73·10 <sup>6</sup>	25	7,6

Интерфейсы наклонного хода и котлована не создавались. Без них перемещения коллектора получаются большими, чем с ними. Таким образом, оценивается худший случай.

Обделки коллектора и наклонного хода моделируются оболочками следующей толщины (см):

Наклонный ход	35,45
Коллектор	15

Последовательность фаз принята следующей:

НАЧАЛЬНАЯ [ID:1]
КОЛЛЕКТОР [ID:2]
КОТЛОВАН [ID:3]
НАКЛОННЫЙ ХОД [ID:..]
УСАДКА [ID:5]

Начальное напряженное состояние задается процедурой гравитационного нагружения.

Далее выкапывается коллектор, создается его обделка и интерфейс. На этой же фазе обнуляются перемещения.

На следующей фазе происходит замена свойств грунта в котловане на «невесомый» бетон. Таким образом, моделируется откопка котлована без жестких стен, распорок и т. п.

Далее происходит откопка наклонного хода, появляется его обделка. К забоя наклонного хода прикладывается распределенная нагрузка (500 кПа).

На последней фазе моделируется усадка обделки наклонного хода (1,6 %).

Всего потребовалось пять фаз расчета.

### Результаты расчетов по 3D-модели (рис. 15 и 16)

По результатам 3D-расчетов для северного вестибюля максимальные перемещения коллектора после усадки обделки наклонного хода равны 18 мм.

### Выводы

1. В результате проведенного моделирования строительства комплекса станции «Сосновая Поляна» в районе ул. Пограничника Гарькавого получены значения прогнозируемых дополнительных деформаций конструкций канализационного коллектора.

2. Результаты 2D и 3D расчетов свидетельствуют, что при строительстве станционного комплекса несущая способность конструкций тоннельного канализационного коллектора обеспечена.

2.1. По 2D-расчетам максимально возможные вертикальные дополнительные смещения коллектора после сооружения станции могут составить 20–21 мм.

В случае если при этом образуются трещины, прогнозируемая величина их раскрытия

(0,01 мм) в десять раз меньше предельно допустимого значения (0,1 мм) по п. 8.2.6 СП 63.13330.2018, то есть с большим запасом не превышает предельно допустимых значений.

2.2. По 3D-расчетам полные дополнительные смещения обделки коллектора не превышают 6 мм для вестибюля № 1 и 18 мм для вестибюля № 2.

Прогнозируемые смещения по результатам 3D-расчетов оказываются меньшими, чем получены в 2D-расчетах. Вывод о безопасности строительства станционного комплекса для конструкций канализационного коллектора получает дополнительное подтверждение.

3. До начала строительно-монтажных работ необходимо произвести обследование технического состояния строительных конструкций коллектора с фотофиксацией дефектов и составлением дефектной ведомости. Дальнейшие обследования технического состояния коллектора следует проводить не реже одного раза в месяц с начала производства строительно-монтажных работ по сооружению станционного комплекса «Сосновая Поляна». После окончания строительно-монтажных работ обследования технического состояния коллектора следует проводить не реже одного раза в пять лет.

4. Для обеспечения безопасного строительства требуется проведение мониторинга за состоянием конструкций тоннельного канализационного коллектора в расчетной зоне влияния нового строительства, в полном соответствии с требованиями к геотехническому мониторингу следующих нормативных документов: СП 22.13330.2016, СП 126.13330.2017, СП 120.13330.2020, ГОСТ 24846-2012, ГОСТ 31937-2011, РД-07-166-97.

### Ключевые слова

Станция метрополитена, расчет, мониторинг.

*Subway station, calculation, monitoring.*

### Список литературы

1. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Москва, 2019.
2. СП 249.1325800.2016 Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами. Москва, 2016.
3. Карасев М. А. Прогноз геомеханических процессов в слоистых породных массивах при строительстве подземных сооружений сложной пространственной конфигурации в условиях плотной городской застройки. Дис. доктора технических наук: 25.00.20 [Место защиты: С.-Петерб. гос. гор. ун-т]. – Санкт-Петербург, 2017.
4. Карасев М. А. Прогноз оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений глубокого заложения в условиях города. Санкт-Петербург. // Проблемы геомеханики, геотехнологии и маркшейдерского дела. Записки Горного института. СПб. 2014. Т. 204. С. 248–252.
5. Карасев М. А. Прогноз деформаций земной поверхности при строительстве

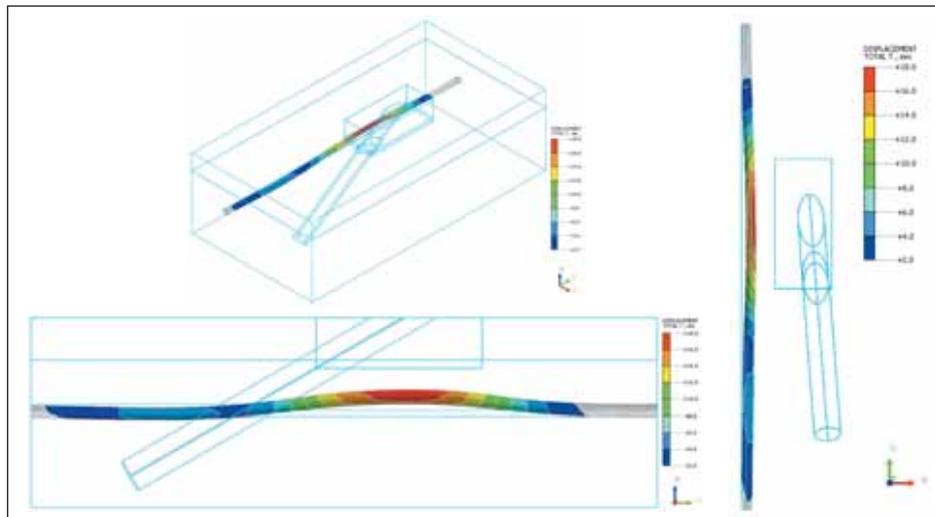


Рис. 15. Общий вид изополей полных перемещений обделки коллектора по окончании расчёта (вид 3D, вид сбоку и вид сверху)

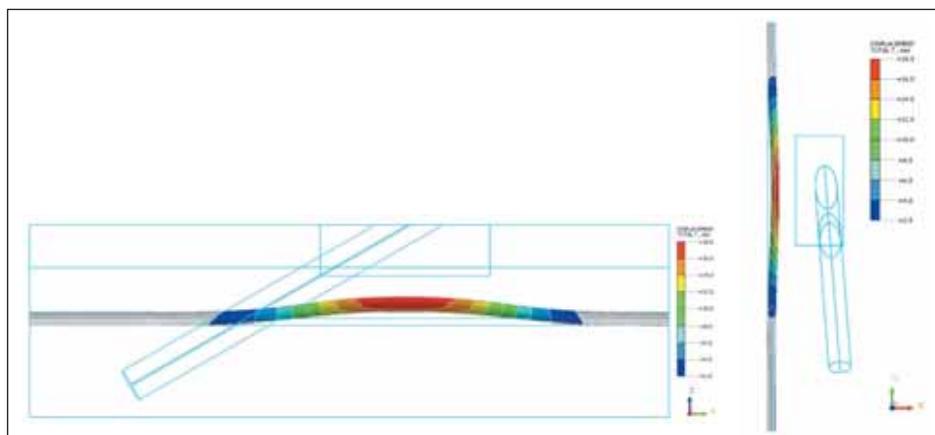


Рис. 16. Общий вид изополей полных перемещений обделки коллектора после фазы экскавации котлована (до проходки наклонного хода и «усадки» его обделки)

станций метрополитенов в твердых глинах / М. А. Карасев, Н. А. Беляков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 139–155.

6. Федеральный закон Российской Федерации от 30.12.2009 № 384 ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
7. Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
8. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации».
9. СП 120.13330.2020 «Метрополитены». Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003. Москва, 2020.
10. СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».
11. СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений». Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*».
12. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. Москва. Стандартинформ. 2014.
13. СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила геотехнического мониторинга при строительстве. Москва. Минстрой России, 2018.
14. СП 21.13330.2012 «СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых

территориях и просадочных грунтах». Москва, 2012.

15. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. Москва, 2016.
16. ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения».
17. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
18. СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений (Дата введения 2003-08-21).
19. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции». Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87.
20. РД07-166-97 Инструкция по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений (Дата введения 1997-09-17).

### Для связи с авторами

Стародумов Андрей Александрович  
starodumov.andrey@physics.msu.ru  
Марченков Тимофей Алексеевич  
Давыдов Александр Владимирович  
Левитин Александр Леонидович





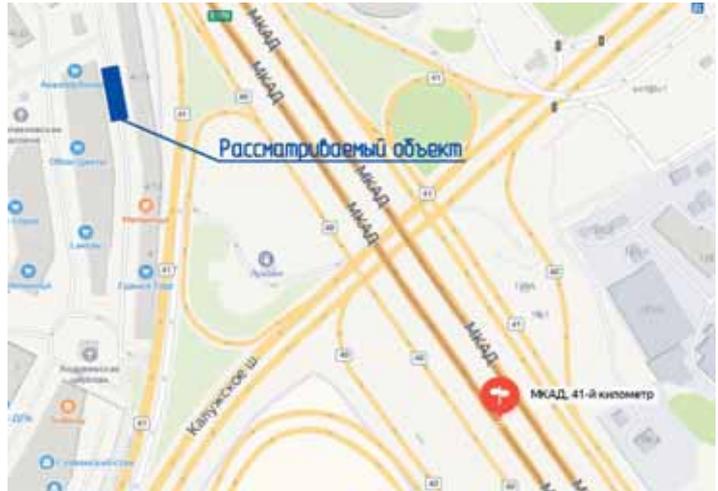
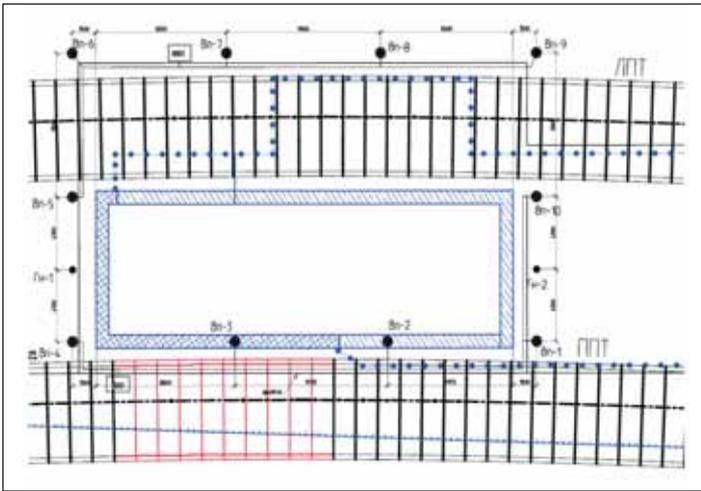


Рис. 2. План системы водоснабжения

Рис. 3

Расчет на возможность продавливания остаточного слоя глин напорными водами надъяюрского водоносного горизонта при разработке котлована выполнен в соответствии с СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (п. 9.29) [1]. Условие безопасности основания от продавливания определяется следующим неравенством:

$$\gamma_f \times \gamma_w \times H_0 \leq \gamma_i \times h_0, \quad (1)$$

где  $\gamma_i$  – удельный вес грунтов основания (18,5 кН/м<sup>3</sup>);  
 $\gamma_w$  – удельный вес воды (9,81 кН/м<sup>3</sup>);  
 $H_0$  – мощность водоупора в основании (9,8 м);  
 $\gamma_f$  – коэффициент надежности по нагрузке равный 1,2;  
 $H_0$  – напор в горизонте (27,00 м).

$$1,2 \times 9,81 \times 27,0 \leq 18,5 \times 9,80$$

$$317,844 \leq 181,30$$

Так как неравенство не соблюдается, то соответственно существует опасность прорыва напорных вод надъяюрского водоносного горизонта через дно котлована. Для его предотвращения необходимо выполнить снижение напора в надъяюрском водоносном горизонте с помощью строительного водопонижения.

Согласно проведенным расчетам уровень подземных вод надъяюрского водоносного горизонта необходимо снизить до абсолютной отметки – 211,75 м (на 11,6 м) с помощью десяти водопонижительных скважин со средним расстоянием между ними 9,4 м. Скважины оборудуются погружными насосами ЭЦВ6-16-75.

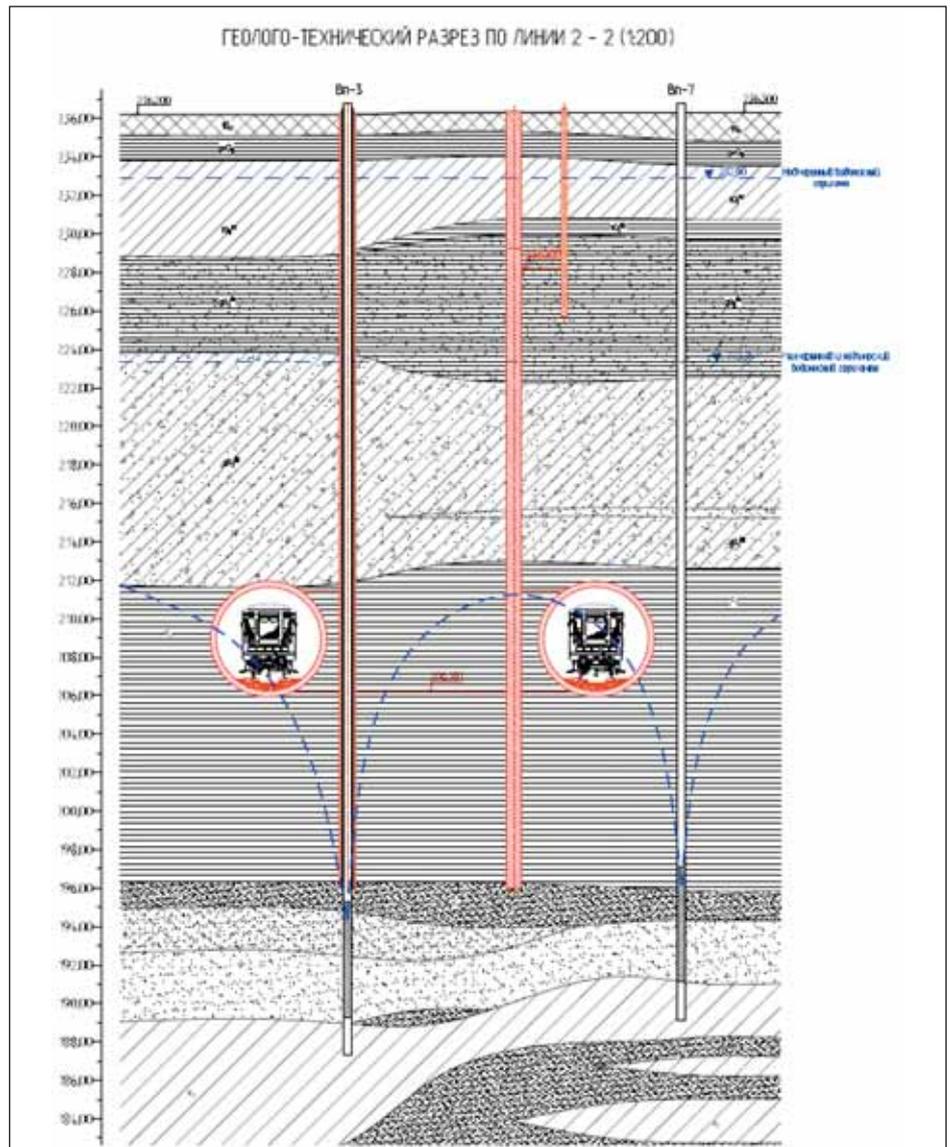
**Организация строительства. Порядок производства работ**

Строительная площадка находится в районе пересечения МКАД с Калужским шоссе на территории строительного рынка (рис. 2 и 3). Разработка котлована будет вестись под защитой системы водопонижения, состоящей из десяти водопонижительных скважин и открытого водоотлива [5].

Водопонижительные скважины (Вп-1, Вп-4–Вп-10) размещаются с внешней стороны котлована в соответствии с планом. Бурение скважин осуществляется с отметок поверхности земли. Установка кондуктора скважин может вестись любым удобным способом, включая шнековое, ударно-канатное бу-

рение или бурение с прямой промывкой водой. Дальнейшее бурение проектом предусмотрено роторным способом с обратной промывкой водой буровой самоходной установкой роторного бурения станком УБГ-СГ типа «Беркут» (или ее аналог). Применение глинистых растворов при промывке не допу-

Рис. 4



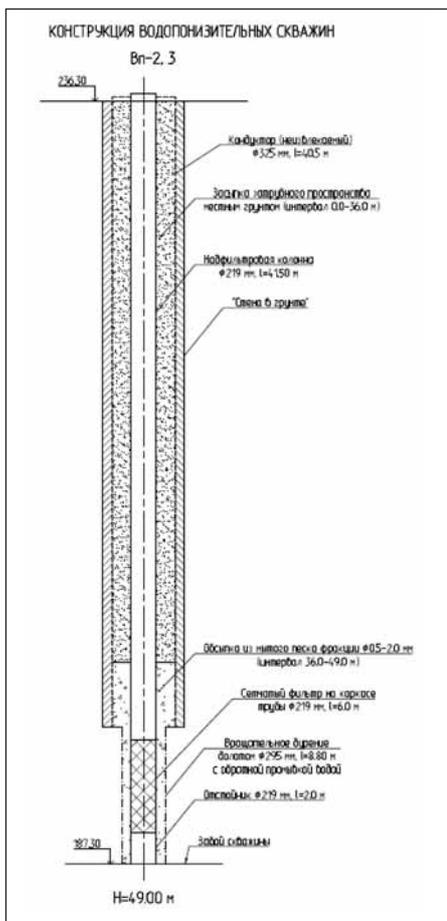
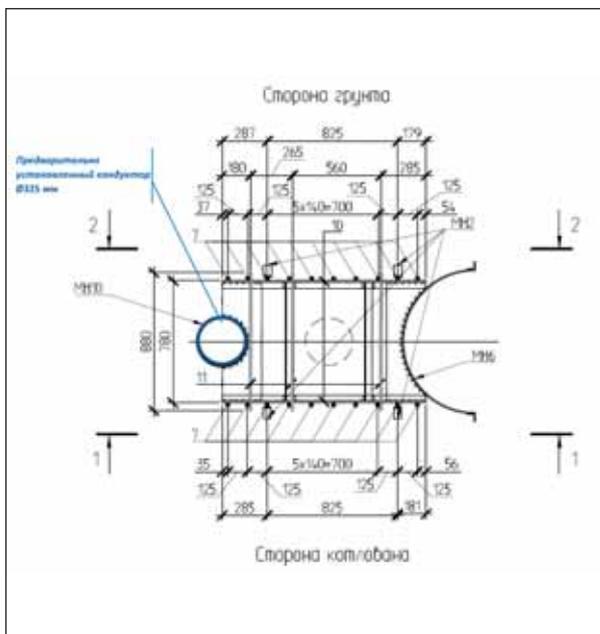


Рис. 5

скается. В скважине монтируется фильтровая колонна с сетчатым фильтром диаметром 219 мм, выполняется фильтровая обсыпка из мытого песка фракции диаметром 0,5–2,0 мм, выполняется прокачка скважин эрлифтом не менее одних суток каждая.

Ввиду стесненности строительной площадки водоопускательные скважины Вп-2 и Вп-3 размещаются в предварительно установленные кондукторы диаметром 325 мм внутри

Рис. 6



Удешевление работ на рассматриваемой площадке № 17а

10 скважин за котлованом	8 скважин за котлованом, 2 скважины в теле СГ	Удешевление	
7 989 672,81 руб.	7 433 486,81 руб.	556 186,00 руб.	7,0 %

Таблица 1

Удешевление на стационарном котловане

40 скважин за котлованом	40 скважин в теле СГ	Удешевление	
32 054 567,32 руб.	20 897 476,13 руб.	11 157 091,18 руб.	34,8 %

Таблица 2

«стены в грунте» (рис. 4 и 5). Далее проектом предусмотрено бурение роторным способом с обратной промывкой водой буровой самоходной установкой роторного бурения станком УБГ-СГ типа «Беркут» (или ее аналог). Применение глинистых растворов при промывке не допускается. В скважине монтируется фильтровая колонна с сетчатым фильтром диаметром 219 мм, выполняется фильтровая обсыпка из мытого песка фракции диаметром 0,5–2,0 мм, выполняется прокачка скважин эрлифтом не менее одних суток каждая.

В пробуренные скважины устанавливаются скважинные погружные центробежные насосы ЭЦВ6-16-75 мощностью по 5,5 кВт каждый. Проектом предусматривается вакуумирование оголовков водоопускательных скважин, выполняемое с помощью установок типа УВВ3-6КМ (2 шт.). Глубина бурения, интервал установки фильтров, отстойников, надфильтровых труб может корректироваться в соответствии с фактическим геологическим разрезом, абсолютными отметками поверхности земли и ситуацией на стройплощадке.

Для контроля эффективности водоопускательной системы предполагается устройство двух гидронаблюдательных скважин, расположенных в ряду водоопускательных. Установка кондуктора гидронаблюдательных скважин может осуществляться любым удобным способом, включая шнековое, ударно-канатное бурение. Далее гидронаблюдательные скважины бурятся с помощью установки УБГ-СГ типа «Беркут» (или ее аналог) роторным способом с обратной промывкой, оборудуются сетчатым фильтром, в них также выполняется обсыпка фильтра песком фракции диаметром 0,5–2,0 мм.

Включение в работу водоопускательных скважин (третий этап) необходимо выполнить не менее чем за 14 суток до начала разработки котлована ниже отметки уровня подземных вод надъяюрского водоносного комплекса.

#### Технико-экономические показатели

При сравнении вариантов размещения скважин вне контура «стены в грунте» и инте-

рированных в нее скважин Вп-2 и Вп-3, рассматриваемого в работе объекта, экономия на буровых работах составила ~7 % (табл. 1).

При применении данного решения на стационарном котловане в аналогичных гидрогеологических условиях экономия при устройстве системы водоопускания может составить ~35 % (табл. 2).

#### Выводы

По итогам рассмотрения варианта размещения скважин водоопускания в конструкции «стены в грунте» траншейного типа, по сравнению с их размещением по традиционной схеме (снаружи или внутри котлована), можно увидеть следующее.

1. Удешевление строительно-монтажных работ и уменьшение сроков строительства за счет сокращения объемов по бурению скважин и работ по бетонированию «стены в грунте».

2. Возможность применять данную схему в стесненных условиях строительной площадки, не создавая помех также при сооружении основных конструкций в варианте размещения скважин внутри котлована.

3. Возможность применения данной схемы в ограждающих конструкциях из буронабивных свай.

4. Возможность рекомендовать применение рассматриваемой в статье схемы размещения водоопускательных скважин при соответствующих инженерно-геологических условиях участка строительства.

#### Список литературы

- СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».
- СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».
- СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
- СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции».
- ВСН 127-91 «Нормы по проектированию и производству работ по искусственному понижению уровня подземных вод при сооружении тоннелей и метрополитенов».

#### Для связи с авторами

Коробков Владимир Юрьевич  
v.korobkov@mospp.ru  
Искендеров Расим Раминович  
Зубарев Владислав Сергеевич  
Филатов Юрий Владимирович  
Халиуллин Ильдар Маратович



# АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ И СИСТЕМ АТДП

С. Ю. Козлов, А. А. Лянда, к. т. н., Д. А. Пентегов, И. А. Сиваков, к. т. н., ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Современный метрополитен – это сложнейшее сооружение, предназначенное для быстрой, комфортной, безопасной и экономичной перевозки пассажиров. Требования к объему перевозок стремительно растут.

Именно поэтому проектирование систем, обеспечивающих движение поездов с требуемой интенсивностью, является важной и актуальной задачей. Решение этой задачи связано с большим количеством вычислений, которые повторяются при решении различных задач, а также с большим количеством исходных данных.

В институте «Ленметрогипротранс» разработана и в течение многих лет используется система автоматизации расчетов, основанная на использовании единой базы данных (БМТ). В 2021 г. в институте запущена новая версия системы с абсолютно новой архитектурой программного обеспечения. При этом основные технические методы и алгоритмы остались прежними.

При разработке архитектуры системы ставились следующие требования.

- система должна быть удобной для работы проектировщиков разных специальностей и системных администраторов. Для удобства проектировщиков разработан интуитивно понятный графический интерфейс;

- система должна иметь возможность разветвления, как в сети, так и на локальных компьютерах пользователей;

- проектная и расчетная документация, выпускаемая программами системы, должна иметь возможность редактирования независимо от БМТ, например, с помощью Microsoft Office и Autocad.

По замыслу разработчиков, ядром системы является единая база данных по трассе существующих и проектируемых линий метрополитена. Для того чтобы задать линию, необходимо для двух путей установить пикеты начала и конца линии по двум путям. Линия может иметь несколько систем пикетов. В этом случае задаются точки сбоя пикетажа. Когда система пикетов задана, линия будет считаться введенной, она сохранится в перечне линий и далее можно вводить все необходимые данные.

## Работа с трассой линии метрополитена

Предполагается, что на одной линии может быть несколько участков с различными системами пикетов. В пределах одного участка нумерация пикетов должна быть сплошной, при этом может быть как возрастающей, так и убывающей. Допускается любое количество участков с разными системами пикетов. «Неправильные» пикеты изображаются условно,

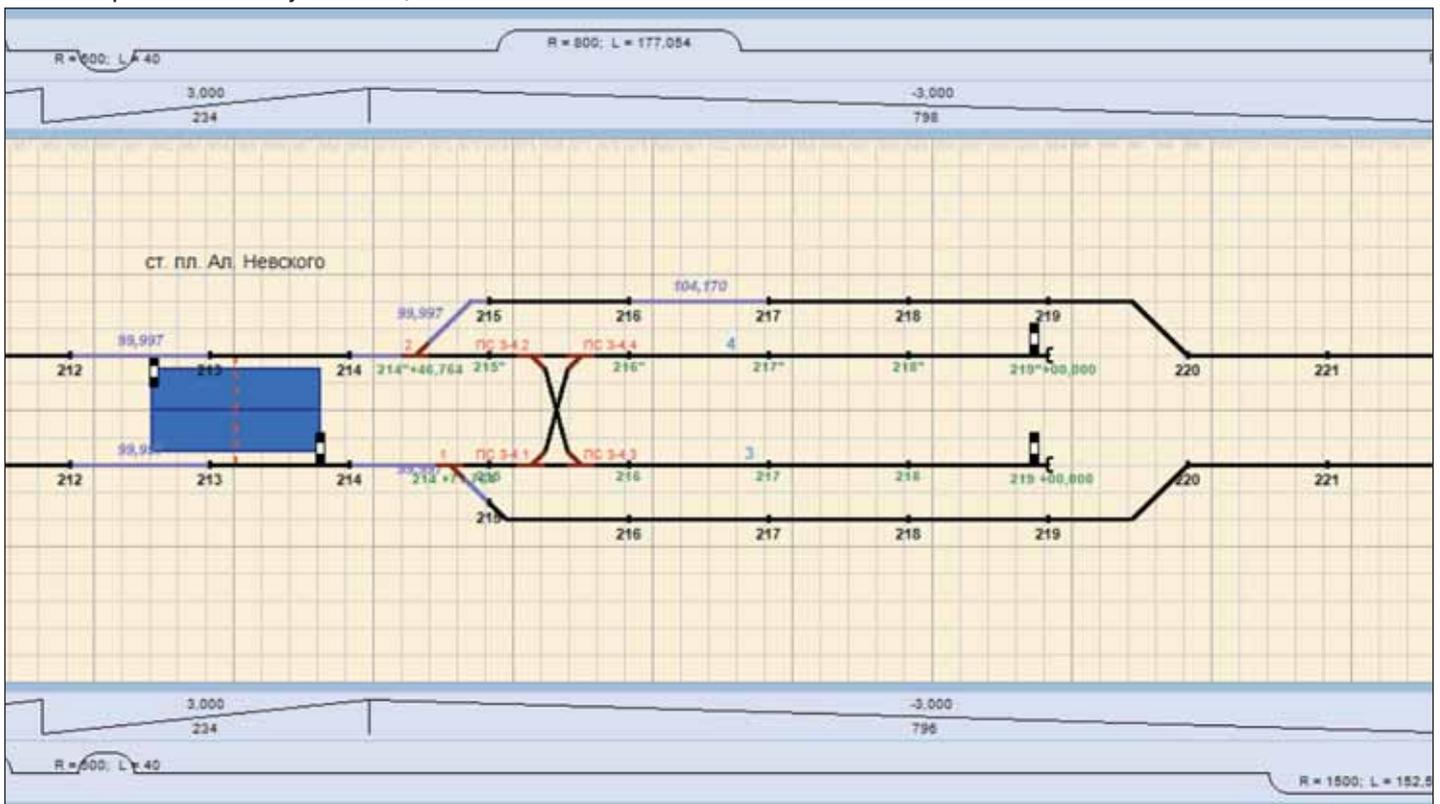
без учета их реальной длины и выделяются цветом с указанием настоящей длины неправильного пикета. Во всех расчетах системы учитываются истинные длины пикетов.

Графический интерфейс позволяет отобразить на экране практически любую топологию станций с путевым развитием.

## Тяговые расчеты метрополитена

Программа позволяет выполнить тяговый расчет, то есть определить зависимости скорости поезда от пройденного пути  $V(s)$ , времени хода от пройденного пути  $t(s)$  и тока поезда  $I(t)$ , общее время хода поезда и общий расход энергии на тягу, а также режимы ведения поезда. Расчет выполняется от любой точки до любой точки на пути, указанном пользователем, промежуточные остановки не допускаются. Траектория движения поезда при движении по стрелкам определяется автоматически. Результаты тягового расчета предназначены, главным образом, для использования в программах расчета тяговых нагрузок фидеров и подстанций и проектирования системы АТДП (автоматики и телемеханики движения поездов). Для решения этих задач применяются различные расчетные режимы ведения поездов с разной точностью расчета. Поэтому существуют две версии про-

Рис. 1. Изображение главных путей со смещением



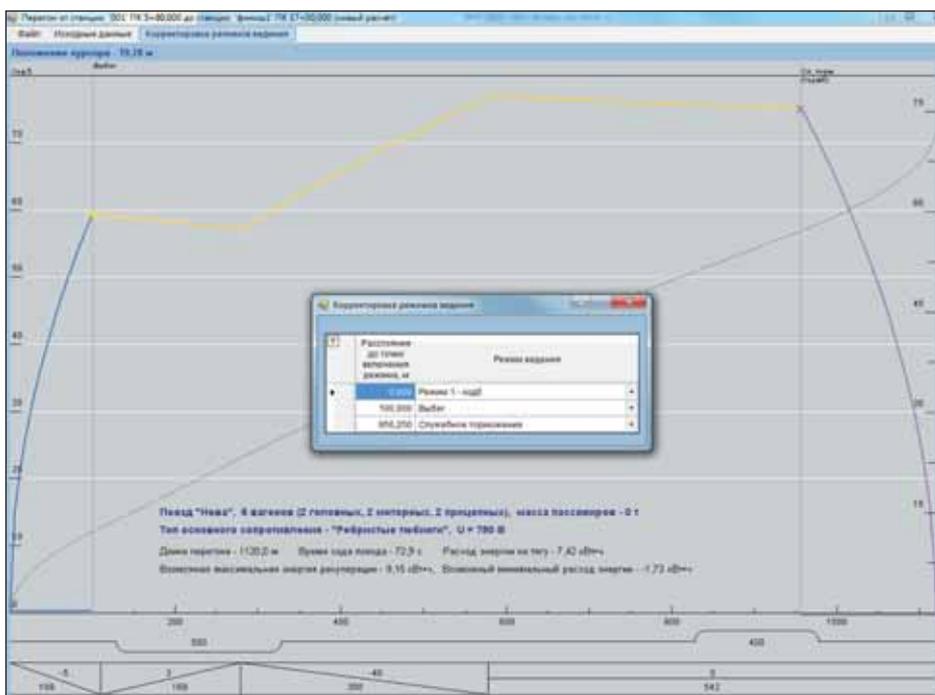


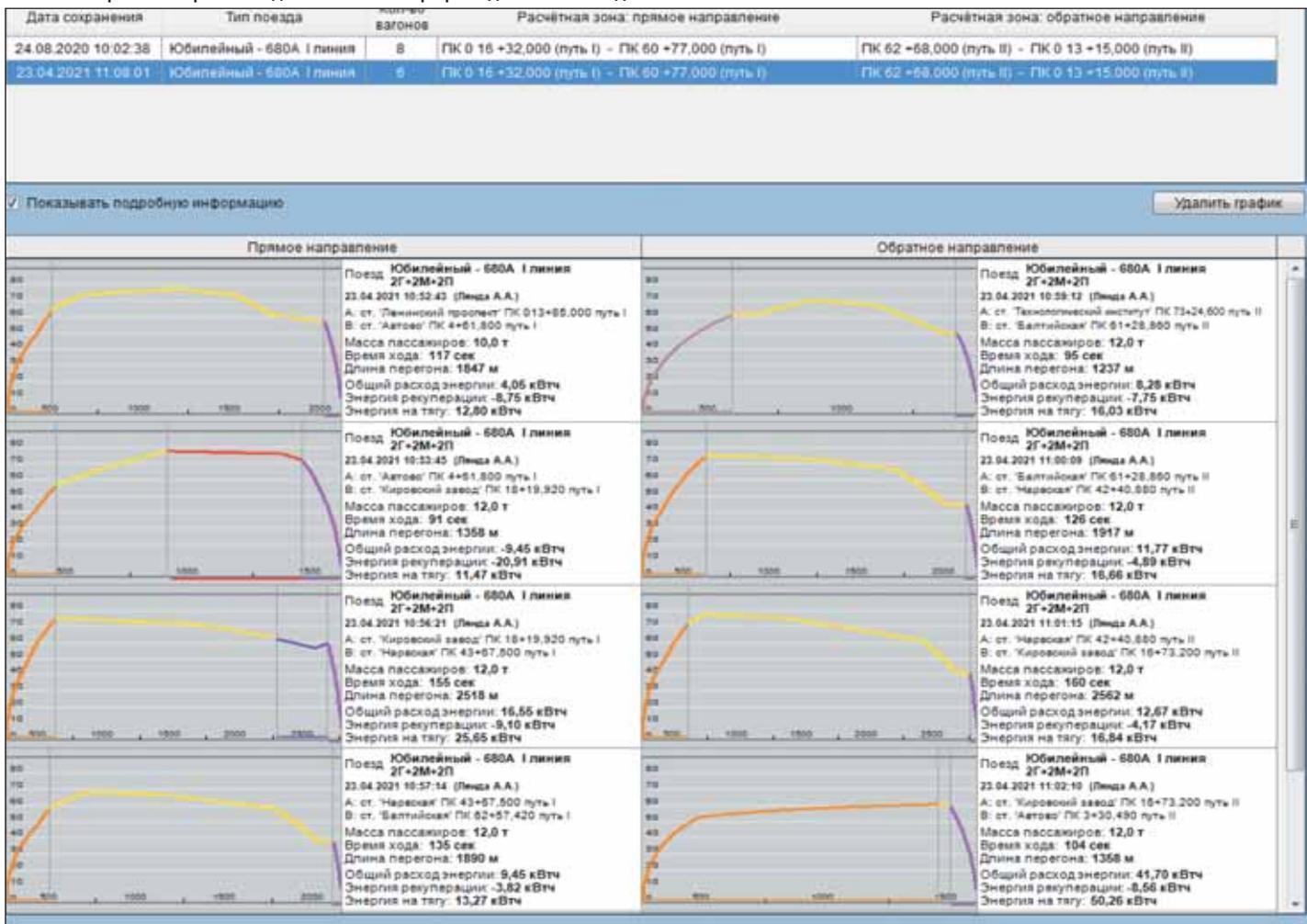
Рис. 2. Интерфейс выполнения тягового расчета

граммы и пользователи каждой специальности работают только с результатами, полученными в «своей» версии программы.

Программа тяговых расчетов позволяет задать любой режим ведения с учетом нало-

женных ограничений скорости, в том числе повторить режимы, установленные службой подвижного состава для каждого конкретного перегона. Тяговые характеристики подвижного состава хранятся в базе данных.

Рис. 3. Выбор тяговых расчетов для составления графика движения поездов



Соппротивление движению в тоннеле рассчитывается по известной формуле Дэвиса с учетом дополнительного аэродинамического сопротивления в тоннеле, которое зависит от конструкции тоннеля и количества вагонов в составе.

Программный комплекс имеет удобный интерфейс для корректировки существующих и создания новых типов подвижного состава. Методика расчета имеет общепринятые допущения – поезд считается материальной точкой, расположенной в центре масс состава, вертикальные кривые не учитываются. Анализ точности расчетов показал необходимость учета плавного изменения ускоряющих и тормозных сил и уровня напряжения в контактной сети, что и было реализовано в программе тяговых расчетов. Многократные опытные поездки на существующих участках линии на разных типах составов показали высокую точность получаемых результатов с отклонениями от практических не более погрешности измерений.

На рис. 2. показан пример выполнения тягового расчета по одному из перегонов.

### Моделирование и расчет системы тягового энергоснабжения

Программы комплекса решают следующие задачи:

- приближенный расчет мощности тяговых подстанций. Результаты расчета предназначены для первоначального выбора тяговых агрегатов и подготовки ТУ на подключение к энергосистеме;
- моделирование графика движения поездов с учетом возможных отклонений от стандартного графика движения;
- расчет тяговых нагрузок подстанций в рабочих и аварийных режимах, питающих и отсасывающих фидеров, кабельных перемычек;
- расчет токов короткого замыкания в тяговой сети;
- расчет максимальной и минимальной интенсивности движения на существующих подстанциях для разных типов подвижного состава;
- расчет и выбор оборудования, исходя из планировочных решений реконструируемых подстанций.

Приближенный расчет мощности выполняется по методике, разработанной в Ленметрогипротрансе [2]. Методика основана на анализе продольного профиля линии, проектной интенсивности движения с использованием наиболее распространенных режимов ведения. Возможности рекуперативного торможения не учитываются.

Расчет нагрузок с учетом графика движения поездов выполняется отдельно для каждой подстанции. При расчете нагрузок учитывается влияние четырех фидерных зон по каждому из путей (по две с каждой стороны). Эти фидерные зоны образуют расчетный участок, для которого составляется график движения, при этом рассматриваются все варианты отклонения поездов от графика в пределах 15 секунд. Для построения графика движения поездов по расчетному участку из базы данных выбираются тяговые расчеты. При наличии нескольких вариантов расчетов, например для поездов разных типов или разных режимов ведения, пользователь имеет возможность самостоятельно выбрать нужный. Пример выбора тяговых расчетов приведен на рис. 3.

Реализации графиков движения по первому и второму путям предполагаются независимыми. Результатом являются зависимости токов от времени на протяжении интервала попутного следования в кабелях тяговой сети и на тяговых подстанциях, соответствующие наиболее неблагоприятному сочетанию отклонений поездов от стандартного графика. На основании зависимостей рассчитываются максимальные, средние и среднеквадратичные токи подстанций, фидеров и кабельных перемычек. Кроме того, для подстанций определяются максимальные значения среднеквадратичных токов подстанций на интервалах 5, 10 и 20 секунд, для проверки допустимых кратковременных перегрузок тяговых агрегатов.

Пример расчетного графика нагрузок подстанции приведен на рис. 4.

Если подвижной состав имеет возможность рекуперативного торможения, автоматически определяется возможность рекупе-

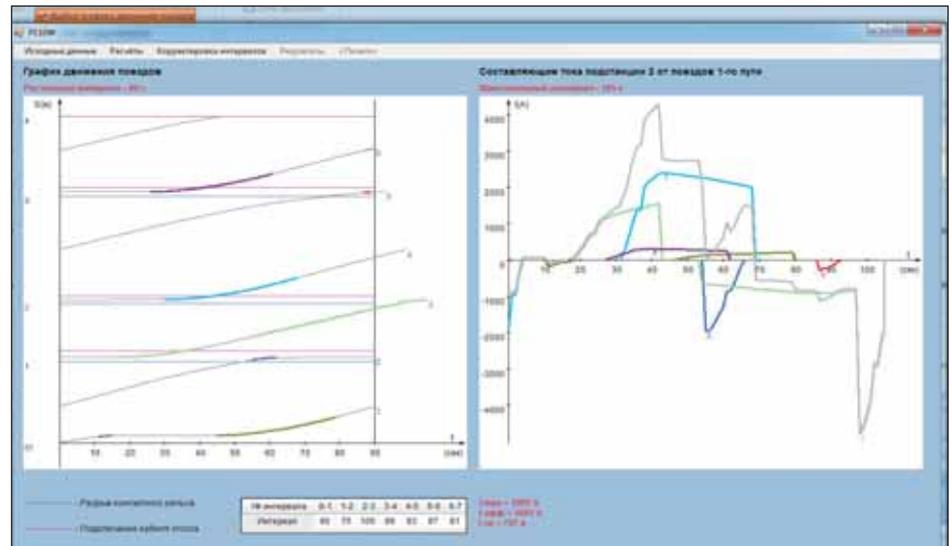


Рис. 4. Наиболее неблагоприятный график движения поездов и соответствующие этому графику мгновенные токи подстанции

рации при наличии потребителей. Частично, в зависимости от реального графика движения, энергия торможения идет на нагрев тормозных реостатов.

Расчет токов короткого замыкания в тяговой сети выполняется отдельно для каждой фидерной зоны. Расчетными точками короткого замыкания являются середины кабельных линий питающих фидеров и кабельных перемычек, а также середины фидерных зон I и II путей [1]. Коротким замыканием в кабельной линии считается пробой оболочки кабеля на токопроводящую оплетку.

До начала расчета необходимо задать данные сети зануления, схемы и параметры подключения оболочек кабелей к сетям зануления. Кабельные линии, для которых не заданы параметры сети зануления, исключаются из расчета.

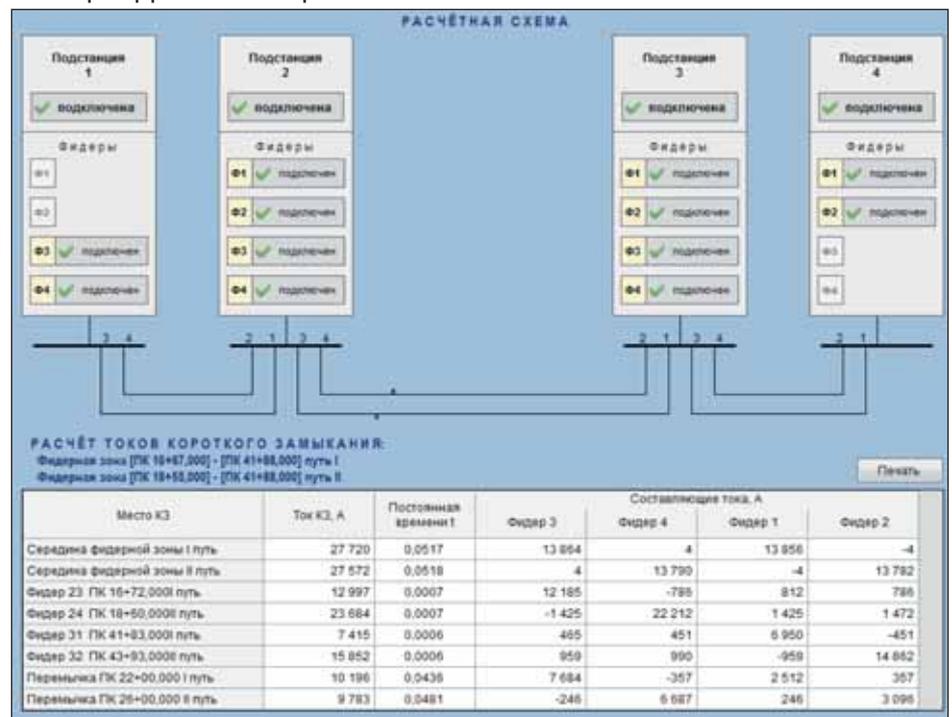
В процессе расчета можно отключить любой фидер и подстанцию целиком, чтобы проанализировать реальную ситуацию в контактной сети.

#### Расчет пропускной способности и расстановка сигнальных точек для линии метрополитена

Комплекс программ расчета пропускной способности выполнен с учетом основных требований к электрической централизации, устройствам интервального регулирования движения поездов, описанных в разных источниках [3], [4] и выполняет следующие задачи:

- расчет максимальных длин рельсовых цепей для заданной пропускной способности;
- расчет пикетов установки изолирующих стыков и точек подключения бесстыковых рельсовых цепей;

Рис. 5. Пример расчета токов короткого замыкания в тяговой сети



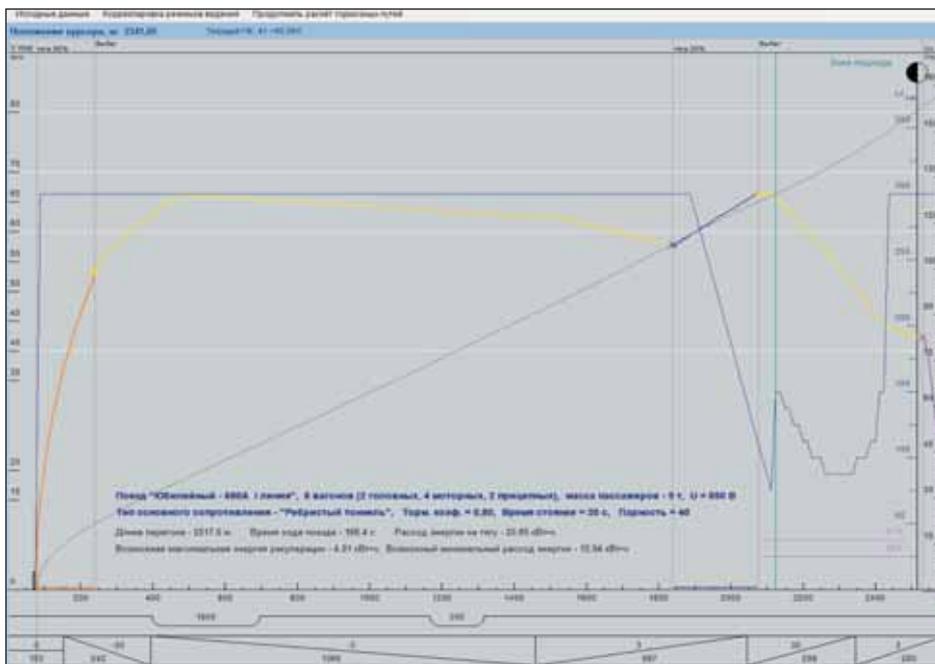


Рис. 6. График скорости, времени хода и максимальной длины рельсовой цепи

- расчет тормозных путей APC;
- расчет «факультативов»;
- вывод максимальной расчетной скорости для каждой рельсовой цепи;
- расчет пропускной способности для перегонов;
- расчет пропускной способности оборота поездов;
- ступенчатое распределение длин тормозных путей для полного набора пороговых скоростей;
- выпуск чертежей расчета пропускной способности и схемы трассы, совмещенной с расположением оборудования автоматики и телемеханики движения поездов.

Исходными данными для расчетов пропускной способности являются результаты тяговых расчетов, выполненные специально для этой цели, заданный интервал движения, время передачи управления подвижным составом при обороте и время стоянки на станции.

На основании тягового расчета выполняется расчет максимальных длин рельсовых цепей при установленных лимитирующих значениях, зависимость выводится на экран совместно с зависимостью скорости от пройденного пути. Пользователь может корректировать режим ведения поезда, подбирая его так, чтобы увеличить максимально возможную длину рельсовой цепи, что соответствует максимальной пропускной способности. Уточненный тяговый расчет сохраняется в базе данных. На рис. 6 показан график зависимости максимальной длины рельсовой цепи от пройденного пути.

На основании рассчитанных длин рельсовых цепей выполняется расстановка изолирующих стыков и точек подключения бесстыковых рельсовых цепей с учетом всех особенностей плана и профиля линии, расположения стрелочных переводов, требований по соотношению длин рельсовых цепей

и т. п. По расставленным рельсовым цепям выполняется расчет нормативных тормозных путей APC и проверяется заданная пропускная способность.

На этом этапе у проектировщика существует возможность изменить конфигурацию рельсовых цепей для увеличения пропускной способности.

Результаты расчета (тормозные пути и «факультативы») сохраняются в базе данных. Существует возможность для одной конфигурации рельсовых цепей выполнить расчеты для разных типов подвижного состава и разных режимов ведения поездов.

Графическая документация – чертеж расчета пропускной способности перегона и схема трассы, совмещенная с расположением оборудования АТДП, выпускается с использованием информации из базы данных. Чертежи выпускаются в виде DXF-файлов, что позволяет легко интегрировать полученные документы в общий объем проектной документации. Для расчета пропускной способности оборота поездов необходимо выбрать путь, по которому осуществляется оборот поездов, это может быть отдельный тупик или один из станционных путей. Далее выполняются тяговые расчеты захода на путь оборота и выхода из него, а также расчет пропускной способности для выхода поезда с пути оборота на станцию с последующим его уходом на перегон. Кроме того, необходимо вручную установить изолирующий стык, по которому будет осуществляться разделка маршрута или его части. В процессе расчета пользователь может корректировать время стоянки в тупике, учитывающего передачу управления подвижным составом, стык разделки маршрута и выбирать разные варианты режимов ведения поезда. Если пропускная способность достаточна, может быть выпущен чертеж оборота поездов на конечной станции.

Существующая версия программы не может быть использована для расчета пропускной способности станции без оборотных путей, когда поезд отправляется в обратный путь непосредственно со станции.

## Заключение

Описанная технология используется в ОАО «Ленметрогипротранс» в течение многих лет и постоянно совершенствуется. Уже сейчас программа позволяет минимизировать количество рельсовых цепей вследствие использования выводимых на экран данных о максимальных длинах рельсовых цепей, что, в свою очередь, в целом дает возможность снизить стоимость системы автоматики и телемеханики движения поездов. Следует отметить и потенциал интеграции со сторонним программным обеспечением, позволяющий, например, выполнить моделирование движения поездов на всей линии с воспроизведением различных внештатных ситуаций или имитацию индивидуальных особенностей машинистов по ведению подвижного состава. Принятые решения также предлагается применять относительно поставленных актуальных задач модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена [5].

Трудоемкость выполнения расчетов, связанных с проектированием систем, обеспечивающих движение поездов, сократилась многократно, выросло качество за счет высокого уровня моделирования, рассмотренного большого количества вариантов.

В настоящей статье описаны возможности программного обеспечения на конец мая 2021 г. Система, доказавшая свою высокую эффективность, продолжает развиваться.

Мы готовы сотрудничать со всеми проектными и эксплуатирующими организациями для выполнения отдельных расчетов и совместной эксплуатации базы данных и системы расчетов.

## Список литературы

1. Е. И. Быков, Б. В. Панин, В. Н. Путьнин. Тяговые сети метрополитенов. М., Транспорт, 1987, 256 с.
2. А. А. Лянда. Оценка расхода электроэнергии на тягу поездов метрополитена и определение мощности тяговых подстанций. «Метро и тоннели» № 5, 2014 с. 22–24.
3. В. В. Лаврик. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов. М., Транспорт, 1984.
4. К. М. Махмутов. Устройства интервального регулирования движения поездов на метрополитене. М., Транспорт, 1984.
5. Е. О. Аверченков, С. В. Данько. Актуальные задачи модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена // Наука и технологии железных дорог. – 2017. – № 2. – С. 11–22.

## Для связи с авторами

Сиваков Иван Анатольевич  
iSivakov@lmg.ru



# УНИКАЛЬНЫЙ ОПЫТ МЕТРОСТРОЕВЦЕВ

**В настоящей статье редакция журнала хочет напомнить нынешнему поколению метростроителей об уникальном опыте предшественников, не имеющем аналогов в мировой практике.**

**В** конце сороковых годов прошлого века была сформулирована идея о возведении в Москве семи высотных зданий, как визитной карточки столицы.

Конструктивные схемы каркасов и фундаментов всех высотных зданий в Москве разрабатывались индивидуально силами специалистов различных научно-исследовательских и проектных организаций.

К началу 1949 г., когда шесть из семи высоток сооружались высокими темпами, с возведением высотки у Лермонтовской площади для нового здания МПС произошла заминка по возможности сдачи его в эксплуатацию в срок одновременно со всеми другими высотными зданиями.

Проблема заключалась в том, что высотка у Красных Ворот должна была возводиться в особых условиях. Здесь, непосредственно под правым крылом здания (жилой корпус со стороны Каланчевской улицы – рис. 1), необходимо было соорудить второй выход из действующей станции метрополитена «Лермонтовская» (ныне «Красные Ворота»).

Этот выход состоял из двух эскалаторных тоннелей с промежуточным поворотным вестибюлем под правым крылом высотного здания, пол которого располагался примерно на 16 м ниже поверхности земли в толще водонасыщенных пльвинных грунтов, где лишь начиная с глубины более 27 м от дневной поверхности залегали плотные юрские глины, подстилаемые известняками.

Экспертиза настаивала на том, что сначала необходимо выполнить работы в этой, самой сложной части комплекса, и только потом, после стабилизации основания, приступить к устройству фундаментов и монтажу металлического каркаса под центральную часть здания. Это увеличивало продолжительность строительства не менее чем на полтора года, а директивный срок его окончания был невыполним. При этом надо было отказаться от раскрытия котлована с обычными для слабых грунтов откосами, поскольку перекрыть движение городского транспорта по Каланчевской улице не представлялось возможным.

Необходимо было найти иное техническое решение, которое позволило бы строить одновременно и металлический каркас центральной части высотного здания на краю котлована и сам котлован для подземного промежуточного вестибюля двухмаршевого эскалаторного тоннеля.

Известные в то время способы устройства котлованов с вертикальными стенками (шпунтовое ограждение, опускной колодез и кессон) не гарантировали устойчивость самых ответственных частей сооружения.

Возникла дерзкая идея: создать по контуру будущего промежуточного вестибюля

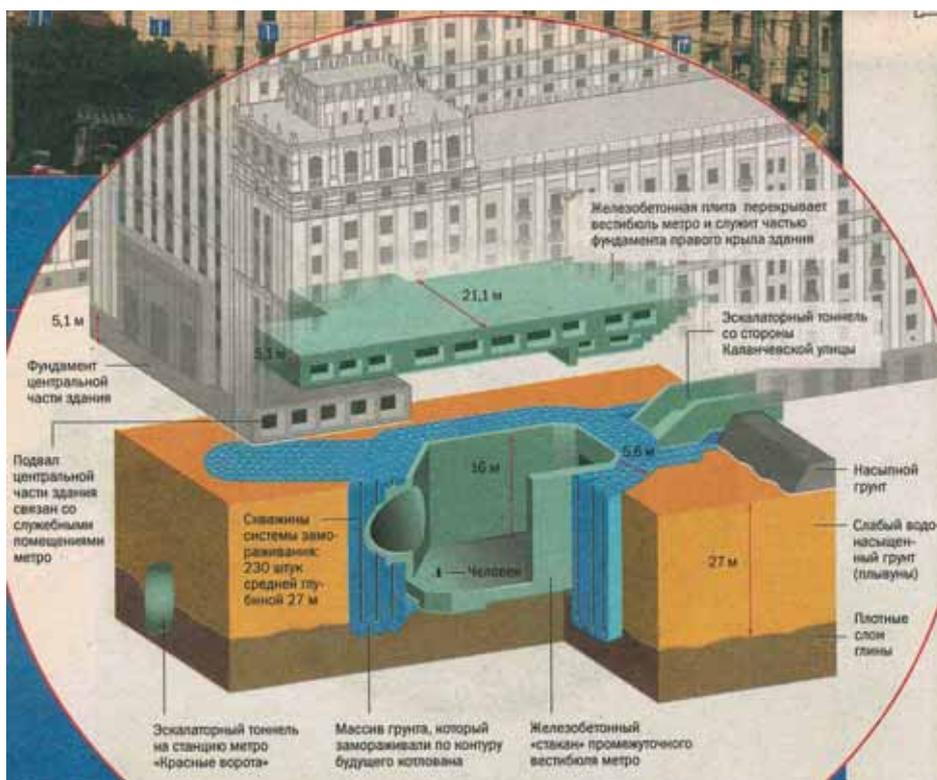


Рис. 1. Вид на правое крыло высотного здания на Красных Воротах с выходом из метро

массив из искусственно замороженного грунта, образующего конструкцию, способную после вскрытия котлована препятствовать его затоплению и воспринять все

внешние нагрузки, в том числе давление, оказываемое высотной частью, возведение которой можно было бы вести параллельно (рис. 2).

Рис. 2. Аксонометрическая схема двухмаршевого эскалаторного тоннеля с промежуточным подземным вестибюлем





В. М. Абрамов

Авторы идеи параллельного строительства высотной части здания на краю открытого закрепленным замороженным по контуру грунтом котлована – два молодых инженера В. М. Абрамов и Я. А. Дорман – в течение нескольких месяцев доказывали и доказали расчетами возможность такого строительства перед научной общественностью и руководством города.

По контуру будущего котлована под промежуточный вестибюль были забурены



Я. А. Дорман

в три ряда скважины, в которые разместили замораживающие колонки. При помощи аммиачных компрессоров по трубопроводам пропускали рассол хлористого кальция, замораживающий грунты. По расчету, для того чтобы вскрыть котлован для промежуточного вестибюля метро, требовалась толща активно замороженного грунта не менее 7 м.

Были выставлены соответствующие марки по периметру фундамента, чтобы наблю-

дать за происходящим перемещением фундамента здания, поскольку один край поднимался при замораживании водонасыщенного грунта, а другой впоследствии при размораживании мог дать осадку. Поставили датчики, измеряющие давление на грунт, но, к сожалению, когда шла заморозка, они перестали работать. Поэтому единственный способ контроля, который был использован – геодезический. Поначалу деформация фундаментной коробки центральной части высотки шла по расчетному графику. После второго замера оказалось, что активно идет подъем части, примыкающей к правому крылу, а с противоположной стороны происходит осадка. Таким образом, наблюдался перекося фундамента центральной части здания в сторону Орликова переулка, на которой уже начали монтировать каркас. Инженеры пытались управлять процессом, ослабляя или, наоборот, интенсифицируя заморозку грунтов. Когда очередные проверки показали, что изгиб не усугубился, приступили к работе по дальнейшему монтажу металлического каркаса.

Во время строительства В. М. Абрамов и Я. А. Дорман круглосуточно держали все операции по монтажу каркаса под личным строгим контролем, первый нередко занимал место непосредственно у теодолита или нивелира; второй руководил ежечасным ходом изменения температурного режима замороженного грунтового основания.

Весной 1950 г. котлован площадью 1200 м<sup>2</sup> и глубиной 24 м был раскрыт.

Впервые в мировой практике, в водонасыщенных грунтах (а практически – в плывунах) был вырыт котлован таких размеров с вертикальными стенками. Причем без расположенных внутри него креплений и в непосредственной близости от одновременно строящегося высотного сооружения (там уже шел монтаж каркаса), создающего горизонтальные нагрузки на искусственно образованное ледогрунтовое ограждение порядка 200 тс/м (рис. 3).

Однако это было ещё не всё. Дело в том, что один край фундамента высотной части вследствие пучения грунтов при их замораживании должен был подниматься (а впоследствии, при оттаивании грунта – давать осадку), в то время как противоположный край под действием возрастающего с каждым днем веса стальных и бетонных конструкций должен был непрерывно оседать.

Как следствие, возникла проблема обеспечения вертикальности каркаса из металлических колонн 100-метрового высотного здания. Исходя из ожидаемых значений деформаций основания, было принято беспрецедентное в практике строительства такого рода сооружений решение вести монтаж колонн центральной части с отклонениями от вертикали в сторону, противоположную ожидаемому крену сооружения при оттаивании грунта.

Свое сомнение высказала посетившая стройку целая группа ученых Академии наук,

### Для справки

**Виктор Михайлович Абрамов, родившийся в семье паровозного машиниста, – выпускник Днепропетровского института инженеров транспорта. Около десяти лет он проработал на Украине, а в 1940 г. был переведен в Москву на должность руководителя отделения зданий НИИ пути и строительства НКПС. В 1945–1947 гг. он – главный инженер Транстехпроекта, а затем – заместитель начальника Главпромстроя МПС. Одновременно на В. М. Абрамова были возложены функции главного конструктора проекта, а затем главного инженера (в дальнейшем – начальника) строительства высотного здания у Красных Ворот. На базе возглавляемого В. М. Абрамовым коллектива был создан трест Мосстрой-15. Был награжден многими орденами, стал лауреатом премии Совета Министров СССР. Скончался в 1988 г.**

**Яков Абрамович Дорман – сын слесаря, родившийся в г. Коканде (Узбекистан). Начав учёбу в Ташкентском горном институте, продолжил её в Московском горном институте. В 1933 г. пришёл на работу в московский Метрострой и в 1937 г. организовал Контору специальных способов работ. Участвовал в сооружении станций «Маяковская», «Динамо», «Площадь Революции», а также в строительстве станции «Невский проспект» в Ленинграде и киевской «Арсенальной» – одной из самых глубоких станций метро в Европе. В 1946 г. за заслуги в деле коренного усовершенствования метода замораживания грунтов в подземном строительстве Я. А. Дорман был удостоен звания лауреата Сталинской премии. Доктор технических наук, профессор, организовал в ЦНИИС Минтрансстроя единственную в СССР лабораторию специальных способов работ. Ему принадлежат многочисленные изобретения и более сотни публикаций. Он был награжден многими орденами и медалями. Скончался в 1980 г.**



Рис. 3. Вид на котлован под промежуточный вестибюль с монтируемым на его краю 100-метровым каркасом центральной части высотного здания

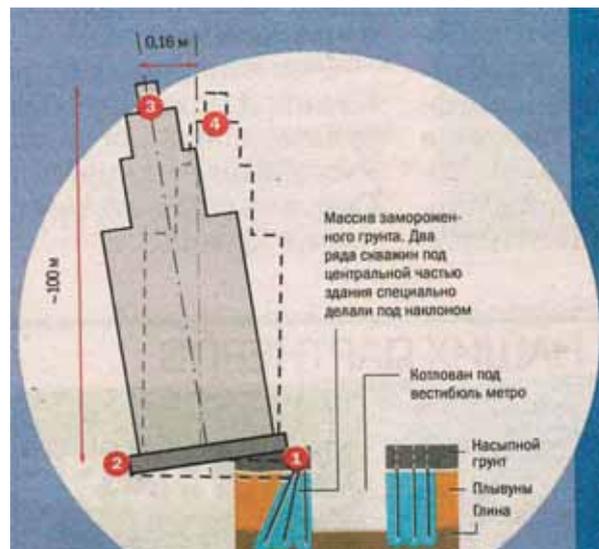


Рис. 4. Монтаж здания с креном каркаса

отраслевых академий, профессора строительных институтов, среди которых были корифеи строительной отрасли А. А. Гвоздев, Н. А. Цытович, Д. Е. Польшин и другие, мнение которых кратко высказал А. А. Гвоздев, мол, отчаянные вы люди, дай вам бог удачи!

После этой «экскурсии» состоялось совещание, на котором уважаемый профессор Н. А. Цытович высказал предположение о том, что после размораживания грунта будет нарушена его структура, и высотная центральная часть здания, примыкающая к котловану метро, даст большую осадку, чем рассчитанная. В связи с этим, не удастся поставить здание в вертикальное положение; более того, каркас пойдет с наклоном в противоположную сторону. Профессора развезжались, но надо было продолжать строительство. Тем не менее, помня высказывание Н. А. Цытовича, решили образующуюся пазуху между несущей стеной промежуточного вестибюля метро и откосом замороженного грунта заполнить тощим бетоном, для того чтобы не было уплотнения грунтов и не произошло то, что предсказывал профессор Цытович.

Дополнительно сверху положили мощную железобетонную плиту, на которую поставили такую же фундаментную коробку, как и под центральное здание. Соорудили консоль 7,5 м фундамента в сторону площади Красные Ворота и 4,5 м в сторону соединения с центральной частью (см. рис. 2).

Таким образом, был сооружен совершенно открытый без всяких креплений котлован под строительство высотки глубиной 7–8 м, в глубине которого находился еще один котлован метро глубиной 25 м, а на бровке основного котлована – фундаментная коробка высотой 5,5 м, на которой были смонтированы металлоконструкции на высоту порядка 100 м.

И все это с заметным наклоном (наклон 16 см был изначально задан инженерами).

Согласно расчетам, ко дню окончания активного замораживания подъём одного из углов фундамента должен был составить 5°;

перекос фундамента по диагонали 7°, а отклонение 100-метрового каркаса от вертикали 160 мм. Фактически (рис. 4) эти перемещения составили 49, 67 и 150 мм – точность, о которой трудно было даже помыслить!

А теперь представим себе, какое нервное напряжение должны были испытывать молодые инженеры, люди, взявшие на себя смелость (а время было строгое!) возводить каркас столь ответственного сооружения с отклонением от вертикали и на протяжении многих месяцев дожидаться возможности увидеть, удалось дерзкое техническое решение или нет!

Как и предполагалось, «посадка» фундамента в проектное положение шла не просто. Конечно же, никто не рассчитывал на то, что в столь сложных условиях каждая колонна каркаса высотной части займет строго вертикальное положение. Более того, следуя за осадкой фундамента, каркас хоть и избавился от первоначально приданного ему наклона, но получил крен в противоположную сторону, однако не вышедший за пределы допустимого. А вот если бы колонны монтировались по отвесу, их наклон был бы намного больше. Подобного рода работ история строительной техники еще не знала.

Когда Метрострой закончил сооружение промежуточного вестибюля в котловане и приступил к монтажу щита для проходки большого наклонного хода под зданием к станции «Красные Ворота», начались работы по обетонированию металлического каркаса центральной части высотного здания, а также форсированное сооружение жилого Каланчевского корпуса здания, примыкавшего к административной части.

Надо сказать, что по поводу этого беспрецедентного эксперимента, имея в конце строительства практически построенное, но пока еще не выровненное 100-метровое здание (представьте, какое было зрелище!), пошло огромное количество писем от специалистов, да и просто от «доброжелателей» в МПС и другие более высокие инстанции, что делается какое-то «кособочное» здание.

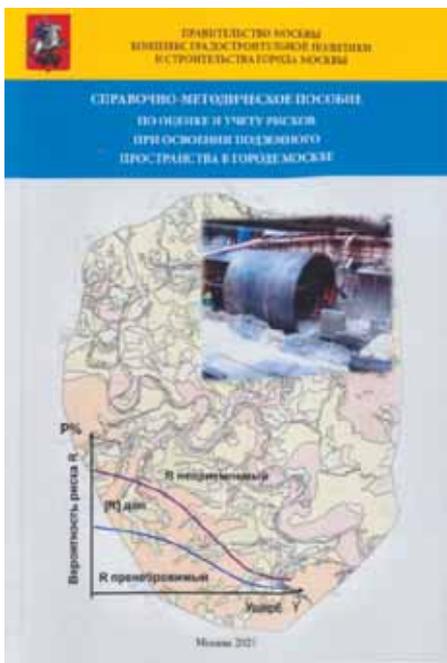
На площадку прекратили всякий доступ, МПС выставило военизированную охрану, сведения об объекте практически засекретили: о состоянии здания почти никто ничего не знал, кроме трех-четырех человек в руководстве МПС и нескольких более высокопоставленных руководителей города (напомним, были 1950–1952 гг.).

Когда Метрострой закончил проходку большого наклонного хода второго выхода из метро, началось выравнивание высотки. На этот момент в ней активно велись отделочные работы. Между центральной частью и крыльями были предусмотрены специальные вставки по 4,5 м шириной каждая, поскольку не знали точно, как будет себя вести здание во время операции по его выравниванию. Через замораживающие скважины нагнетали теплый рассол и постепенно размораживали грунты. В течение нескольких месяцев, то усиливая, то ослабляя подачу этого рассола (чтобы не сломать фундамент), в конечном счете, удалось выровнять здание. Окончательно строительство у Красных Ворот завершили на год раньше, чем было предусмотрено первым проектом – в 1953 г., одновременно со сдачей МГУ и высотных зданий на Смоленской площади и Котельнической набережной.

Полная уверенность в надёжности сооружения дала основание выдвинуть Я. А. Дормана и В. М. Абрамова на соискание Сталинской премии за 1950 г. (архитекторы всех других высотных зданий и некоторые конструкторы были удостоены этой награды ещё в 1949 г., когда, по существу, строительство высоток только начиналось), однако рассмотрение вопроса было отложено до полного окончания работ. В 1953 г. последовало новое, казалось бы, безупречное представление. Но... после смерти генералиссимуса премии его имени больше не присуждались, к тому же резко изменилось официальное отношение к высотным зданиям, архитектура которых олицетворяла стиль «Сталинской эпохи».



# ОЦЕНКА И УЧЕТ РИСКОВ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ГОРОДЕ МОСКВЕ: СПРАВОЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



**К**рупномасштабный рост подземного строительства в Москве в последнее время стал беспрецедентным и связан с привлечением большого числа непрофильных специалистов и организаций. Это предопределило актуальность и особую остроту решения проблемы оценки и учета рисков при проектировании и строительстве подземных сооружений в столице с целью сокращения разного рода нештатных, в том числе, аварийных ситуаций, как при создании, так и эксплуатации подземных сооружений в городе, проявляющихся в виде деформаций поверхности, приводящих к разрушению действующих сооружений и коммуникаций; затоплению и обрушению выработки; провоцированию оползней, пожарам и т. п. Вызванный этим ущерб может в десятки раз превышать средства, «экономленные» при отказе от необходимых защитных мероприятий. В связи с этим, по заданию Департамента градостроительной политики г. Москвы НИЦ Тоннельной ассоциации при участии специалистов из МГСУ, Московского горного института, Ленметрогипротранса и Российской академии транспорта разработано Справочно-методическое пособие по оценке и учету рисков при освоении подземного пространства в городе Москве (научный руководитель разработки – д. т. н., проф. В. Е. Меркин). Пособие утверждено руководством Стройкомплекса города Москвы

и опубликовано издательством «Инфра-Инженерия» ([www.infra-e.ru](http://www.infra-e.ru)).

Пособие общим объемом 270 страниц состоит из Введения и восьми разделов, в которых содержится информация о действующих нормативных документах в рассматриваемой области, основных видах и источниках рисков при подземном строительстве в Москве, методах их оценки и управления, характерных видах и причинах нештатных ситуаций при освоении подземного пространства в Москве, защитных мероприятиях, методах ликвидации их последствий и оценки эффективности.

В первых двух разделах Пособия определены используемые в нем основные понятия и термины. В частности, с опорой на ряд нормативных и ведомственных документов конкретизированы часто употребляемые в практике тоннелестроения, особенно при разборе нештатных ситуаций, понятия авария и инцидент.

В разделе 3 отражены виды и источники рисков при подземном строительстве в Москве, 13 из которых – это геотехнические риски, обусловленные специфическими инженерно-геологическими условиями заложения объектов (риски подтопления, прорывов пльвуна, развития карстово-суффозионных процессов и т. п.), реализация которых возможна при строительстве или эксплуатации, а 11 видов рисков могут быть отнесены к технологическим (риски нарушения технологии работ, развития дефектов в конструкциях формирования техногенных стоков и т. п.). Здесь же представлены основные методы и структура процесса при анализе рисков.

Дается сравнительно подробная информация о наиболее употребительной в практической деятельности балльной методике экспертной оценки рисков городского подземного строительства и вероятностных методах моделирования риска аварий.

В этом разделе приведена структура управления рисками инвестиционных проектов на всех этапах жизненного цикла сооружения (от градостроительного обоснования до эксплуатации).

Раздел 4 целиком посвящен специфическим для Москвы геотехническим рискам. Здесь собраны основные направления их развития и дается подробная характеристика геологических опасностей, которые необходимо учитывать при освоении подземного пространства в столице.

В Пособии с позиций прогнозирования и управления рискам при подземном строительстве приведена также информация о геоинформационном моделировании, получающим в настоящее время всё более широкое развитие для предупреждения опасных ситуаций.

В Разделе 5 Пособия в обобщенном виде приведены нештатные ситуации при возведении и эксплуатации подземных сооружений в Москве, наиболее часто имевшие место в последние 10–15 лет. Указаны формы их проявления, последствия и причины для стадий строительства и эксплуатации при открытом и закрытом способах работ.

Здесь же сконцентрированы эффективные и апробированные практикой решения по предотвращению нештатных ситуаций и ликвидации их последствий как для самих подземных сооружений, так и для других объектов городской инфраструктуры, находящихся в зоне влияния подземного строительства.

Раздел 6 документа посвящен контролю уровня рисков при подземном строительстве методами и средствами геотехнического мониторинга. В качестве приоритетных направлений развития способов геотехнического мониторинга подземных сооружений предлагается рассматривать:

- измерения пространственных геометрических параметров конструкций с помощью лазерного сканирования;
- комплексные интегрированные решения, позволяющие управлять различными модулями (операторы контроля доступа и слежения, связь в тоннеле, замкнутые системы видеонаблюдения, зондирование окружающей среды и управление аварийными ситуациями и сигнализациями);
- технологии высокоскоростной видеосъемки и распознавания изображений, позволяющие предупреждать, например, об обрушении через 0,1 секунды после обнаружения движений падающих объектов;
- методы радарной спутниковой интерферометрии для определения смещений поверхности Земли;
- технологии на основе дополненной реальности и виртуальной реальности и др.

В разделе 7 излагается прикладная методика оценки и учета рисков при освоении подземного пространства в г. Москве, ориентированная на использование специально разработанных Алгоритма процесса и программы вычисления вероятности реализации опасной ситуации и возможного ущерба. Согласно указанной методике ве-

роятность проявления составляющих частной вероятности риска определяется при следующих условиях:

- вероятность причины риска – в зависимости от инженерно-геологических условий и проекта;
- вероятность события – при условии, что причина риска присутствует (100%-вероятность);
- вероятность последствия – при условии, что событие произошло (у события 100%-вероятность).

Частные вероятности рисков и их стоимости от разных причин или событий, а также эффективность защитных мероприятий по снижению рисков оцениваются в процентах отдельно из приведенных в работе общих выражений.

На основании сравнения стоимостей рисков без мероприятий и с мероприя-

ми, и с учетом их технической и финансовой эффективности выбираются защитные мероприятия.

В этом же разделе приводятся примеры оценки защитных мероприятий от геотехнических рисков при изысканиях и учета рисков при эксплуатации подземного сооружения.

В заключительном 8-м разделе Пособия изложен порядок и расчетные выражения, позволяющие дать оценку потенциальной социально-экономической эффективности защитных мероприятий. Представлены соответствующий нормам, в частности, СП 116, порядок оценки возможного ущерба от реализации возможного риска, состав и расчетные выражения для количественного определения затрат на компенсацию последствий. При этом учитываются материальные потери как на дан-

ном объекте, так и на стороннем, который был затронут нештатной ситуацией. Учитывается также необходимость возмещения ущерба, причиненного жизни и здоровью сотрудников при аварии.

Приложения к Пособию содержат материалы справочного характера и примеры, иллюстрирующие отдельные положения представляемого документа. В их числе форма и пример составления Реестра рисков, таблицы с перечнями рисков и рекомендуемых защитных мероприятий для открытого и закрытого способов работ.

В последнем, 11-м приложении на примере из практики подземного строительства в Москве подробно описана процедура количественной оценки рисков и эффективности защитных мероприятий.

*Проф. В. В. Космин*

## ЦЕННОЕ ПОПОЛНЕНИЕ КНИЖНОЙ ПОЛКИ ТОННЕЛЕСТРОИТЕЛЕЙ



Глава 2 посвящена инженерным изысканиям в тоннелестроении, включая инженерно-геологические изыскания и геотехнические исследования, инженерно-геодезические изыскания и маркшейдерские работы, инженерно-экологические изыскания и исследования.

Содержание главы 3 – проектирование трассы и поперечного сечения тоннелей горных, подводных, городских автотранспортных и городских пешеходных.

В главе 4 рассмотрены конструкции тоннелей, в том числе конструкционные материалы, внутреннее очертание тоннельных обделок, конструкции тоннелей, сооружаемых горным способом, щитовым способом, продавливанием и под защитой экранов из труб, открытым и полукрытыми способами, подводных тоннелей, притоннельных и внутритоннельных сооружений, а также гидроизоляция тоннельных конструкций и деформационные швы.

Глава 5 посвящена нагрузкам и воздействиям на конструкции тоннелей. Приводятся виды нагрузок и их сочетания, раскрываются горное давление и методы его определения, постоянные и временные нагрузки, особые и прочие воздействия.

В главе 6 излагаются расчёты конструкций тоннелей. Приводятся основные направления расчёта тоннельных обделок, методы их расчёта на заданные нагрузки применительно к обделкам кругового, сводчатого и прямоугольного очертания. Освещены численные методы расчёта.

Глава 7 посвящена вентиляции тоннелей. Даны схемы и системы искусственной вентиляции, расчёт искусственной вентиляции.

В главе 8 рассмотрено искусственное освещение, водоотведение и специальное

оборудование тоннелей, в том числе устройства, обеспечивающие безопасность движения, а также вспомогательные устройства и оборудование.

Таким образом, содержание учебника охватывает практически весь комплекс вопросов учебной дисциплины «Проектирование автодорожных и городских тоннелей» и соответствует рабочей программе дисциплины. В основу изложения положены анализ и обобщение современного отечественного и зарубежного опыта проектирования автодорожных и городских тоннелей с использованием действующих нормативных документов.

В тексте помещены многочисленные и вполне уместные иллюстрации, в том числе уникальные, в большинстве своём цветные, что в большой степени способствует наглядности и адекватному восприятию излагаемого материала. Высокий профессиональный и педагогический уровень авторов позволил просто и доходчиво изложить сложные вопросы проектирования объектов современного тоннелестроения.

Учебник рекомендован Экспертным советом Учебно-методического объединения в системе высшего и среднего профессионального образования для уровней бакалавриата и магистратуры направления «Строительство» и для специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Изложенный материал может быть полезен для специалистов и других инженерно-технических работников, занятых в области проектирования, строительства и эксплуатации автодорожных и городских тоннелей.

*Проф. В. В. Космин*

**В**ышло из печати очередное учебное издание в рамках успешно создаваемой и обновляемой педагогами МАДИ линейки учебно-методических изданий в области тоннелестроения – «Проектирование автодорожных и городских тоннелей» (Л. В. Маковский, В. В. Кравченко, Н. А. Сула. ISBN 978-5-406-08447-2).

В главе 1 приведены общие сведения о тоннелях, в том числе их классификация и область применения, охарактеризована эффективность тоннельного строительства, даны этапы и методы проектирования тоннелей, раскрыта история развития тоннелестроения.

## ПАМЯТИ СЕРГЕЯ ГРИГОРЬЕВИЧА ЕЛГАЕВА



**Коллектив Тоннельной ассоциации России с глубоким прискорбием сообщает, что 2 марта 2022 г. на 73-м году жизни скончался наш товарищ и коллега Сергей Григорьевич Елгаев.**

Вся жизнь Сергея Григорьевича является ярким примером беззаветного служения делу, которое было избрано им в молодые годы. Окончив в 1971 г. Московский институт инженеров железнодорожного транспорта, он связал свою дальнейшую судьбу с профессией инженера-строителя в такой сложной области, как строительство подземных сооружений. Начав свой трудовой путь с должности начальника смены в строительном-монтажном управлении, он прошел все ступеньки служебной лестницы, став

в 1997 г. главным инженером организации, занимающей ведущие в России позиции в подземном строительстве, а в 2006 г. – ее генеральным директором.

В годы его руководства Трансинжстройом в организации было произведено полное техническое перевооружение в непростых условиях перестройки экономических отношений в нашей стране. Несомненным успехом этой работы стала проходка участка линии Московского метрополитена от ст. «Парк Победы» до ст. «Кунцевская», где в результате внедрения разработанных по инициативе Сергея Григорьевича технических предложений были достигнуты рекордные скорости проходки перегонных тоннелей с применением ТПМК в комплексе с технологией конвейерной транспортировки грунта. Широко известны среди метростроителей многие его изобретения, направленные на повышение эффективности работы систем вентиляции, применяемых в подземном строительстве.

Обширные инженерные знания, огромный практический опыт строителя сложных подземных сооружений в самых различных горно- и гидрогеологических условиях, талант крупного организатора строительного производства в области подземного строительства были признаны в строительном сообществе, свидетельством чему являются многочисленные правительственные награды.

С. Г. Елгаев – автор многих научных трудов и изобретений, доктор технических наук, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, заслуженный строитель РФ.

В последние годы неоценимый опыт и знания Сергея Григорьевича были востребованы руководством строительной отрасли города по реализации грандиозной Программы развития Московского метрополитена, свидетельством чему стало его назначение на должность советника правительства города Москвы по вопросам строительства Московского метрополитена и председателя Совета директоров Мосметростроя.

Тоннельная ассоциация России и редакционная коллегия журнала «Метро и тоннели» выражают искренние соболезнования родным и близким нашего коллеги, всем, кто знал и работал с этим незаурядным, энергичным и жизнерадостным человеком.

Светлая память о Сергее Григорьевиче Елгаеве сохранится в наших сердцах, а его имя – в истории метро- и тоннелестроения, в объектах, которые он строил на протяжении своей наполненной яркими событиями жизни.

*Правление Тоннельной ассоциации России*