

СОДЕРЖАНИЕ

Метро тоннели

Журнал
Тоннельной ассоциации России

Председатель редакционной коллегии

С. Г. Елгаев, доктор техн. наук

Зам. председателя редакционной коллегии

В. М. Абрамсон, канд. экон. наук
И. Я. Дорман, доктор техн. наук

Ответственный секретарь

В. В. Внутских

Редакционная коллегия

В. П. Абрамчук
В. В. Адушкин, академик РАН
В. Н. Александров
М. Ю. Беленький
А. Ю. Бочкарев, канд. экон. наук
Н. Н. Бычков, доктор техн. наук
С. А. Жуков
А. М. Земельман
Б. А. Картозия, доктор техн. наук
Е. Н. Курбацкий, доктор техн. наук
С. В. Мазеин, доктор техн. наук
И. В. Маковский, канд. техн. наук
Ю. Н. Малышев, академик РАН
Н. Н. Мельников, академик РАН
В. Е. Меркин, доктор техн. наук
М. М. Рахимов, канд. техн. наук
Б. И. Федунец, доктор техн. наук
Т. В. Шепитько, доктор техн. наук
Е. В. Шекудов, канд. техн. наук
Ш. К. Эфендиев, председатель
ТА Азербайджана

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

Компьютерный дизайн и вёрстка

С. А. Славин

Журнал зарегистрирован

Минпечати РФ ПИ № 77-5707

Перепечатка текста и фотоматериалов
журнала только с письменного
разрешения издательства
© ООО «Метро и тоннели», 2016

№ 6 2016

Оглядываясь на пройденный путь...

Н. И. Кулагин

Что нового в научно-технических разработках к юбилею ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

К. П. Безродный

Оценка качества возведения «стены в грунте» по данным сейсмоакустического межскважинного просвечивания

Ю. С. Исаев, О. В. Бойко,
К. А. Дорохин, Е. В. Костромитина

Геотехнический мониторинг при строительстве Санкт-Петербургского метрополитена на малых глубинах

М. О. Лебедев, Р. И. Ларионов,
Г. Д. Егоров, А. В. Попович

Экологическое сопровождение строительства и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов – основа для минимизации негативного воздействия на окружающую среду

С. Г. Гендлер, Е. И. Домпальм, Р. В. Введенский,
А. Ю. Котомина, М. В. Могильный, Л. В. Рыжова

Применение метода регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) для решения инженерно-геологических и геотехнических задач в тоннелестроении

А. Д. Басов, К. В. Романевич

Изучение условий образования и инженерно-геологическая оценка состава и строения гранитоидов для обоснования проектных решений при сооружении нового Байкальского тоннеля трассы БАМ

А. И. Арнаутков, С. Я. Нагорный, В. Г. Штыров

Особенности инженерно-геологического обоснования проектирования строительства сооружений метрополитена больших городов России (на примере Москвы и Санкт-Петербурга)

С. Я. Нагорный, Н. Н. Лакова, И. В. Русанов

Современные достижения в проектировании станций метрополитена

Д. А. Бойцов, О. В. Евстифеева

Опыт применения программного комплекса Plaxis 3D отделом проектирования тоннельных строительных конструкций

С. В. Рябков, Р. А. Соловьев

Метрополитен Санкт-Петербурга. Изменения организации строительства в ходе реализации проекта

В. А. Марков, И. В. Ильин,
В. М. Ключанов, Г. А. Казакова

Комбинированная технология закрепления грунтов в подземном строительстве Санкт-Петербурга

В. А. Марков, И. В. Ильин, Л. М. Барсуков,
Д. Ю. Артюхов, М. С. Светикова

Рациональный выбор схемы тоннельной вентиляции как залог эффективной эксплуатации транспортных тоннелей

В. А. Соколов

Струйные вентиляторы на объектах метрополитена

Е. К. Левина

Светлее, ярче, быстрее...

Проблемы модернизации систем автоматики и телемеханики движения поездов в условиях действующего метрополитена

И. В. Кульгин, Е. В. Симаков,
С. А. Жуков, Д. А. Пентегов

Петербургский тандем

А. Ю. Старков

На пути развития комплексной системы горно-экологического мониторинга при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей

В. Б. Болтинцев, В. Н. Ильяхин

Об условиях эффективного применения двухпутных тоннелей при строительстве метрополитена в Москве

В. Е. Меркин, И. Н. Хохлов

Развитие методов прогноза оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки

А. Г. Протосеня, М. А. Карасев

Методология расчета конструкций станций метрополитена глубокого заложения на основе открытой системы и 4D моделирования

П. А. Деменков



ФОТО НА ОБЛОЖКЕ

Проектируемая станция
«Театральная»
Санкт-Петербургского
метрополитена



В. А. Маслак, генеральный директор ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Дорогие коллеги!

От всей души поздравляю Вас с 70-летием родного института. Все, что сегодня можно назвать лучшими достижениями ОАО «Ленметрогипротранс», его вкладом в развитие транспортной инфраструктуры нашей страны создано вашим умом, талантом и трудолюбием. Хочу поблагодарить всех сотрудников института за высочайший профессионализм, преданность делу и умение работать в команде, за способность нестандартно мыслить, находить оригинальные решения любых, даже самых сложных, задач.

Отдельная благодарность нашим партнерам – субподрядным специализированным проектным организациям и, конечно, заказчикам и транспортным строителям, превращающим проекты нашего института в реальные линии метро, автомобильные и железнодорожные тоннели. Спасибо за многолетнее надежное сотрудничество и взаимопонимание.

Решение о строительстве метрополитена в Ленинграде было принято еще в 1938 г. и уже к 1941 г. пройдены первые стволы и выработки по документации, разработанной московскими проектировщиками. Великая Отечественная война 1941–1945 гг. прервала сооружение метрополитена, но уже с 1946 г. оно возобновилось, и приказом Министерства путей сообщения СССР от 3 декабря 1946 г. № 795/ЦЗ был образован филиал Московского института «Метропроект» – «Ленметропроект» для проектирования метрополитена в Ленинграде. В Северную столицу была направлена группа опытных специалистов-проектировщиков, образовавшая ядро формировавшегося коллектива.

С конца 1940-х гг. институт начал заниматься и проектированием тоннелей. Первыми были железнодорожные тоннели на трассе Междуреченск – Тайшет Красноярской железной дороги. С тех пор в портфеле заказов нашего института всегда присутствуют в том числе и тоннели разного назначения – автодорожные, железнодорожные, гидротехнические и коммуникационные.

Спустя 27 лет Ленинградский филиал был преобразован в самостоятельный институт «Ленметрогипротранс», а в 1984 г. институт был назначен в Минтрансстрое головным по проектированию горных железнодорожных и автодорожных тоннелей. В 1993 г. институт преобразовался в открытое акционерное общество «Научно-исследовательский, проектно-изыскательский институт «Ленметрогипротранс».

За прошедшие десятилетия институтом проделана огромная проектно-изыскательская работа, благодаря которой построены и эксплуатируются 67 станций метрополитена в Санкт-Петербурге. Также в послужном списке питерских проектировщиков станции подземок в Казани, Новосибирске, Самаре, Челябинске. В настоящее время проектируются новые линии метрополитена в Москве.

Обширна география проектируемых тоннелей различного назначения, в том числе тоннели Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, тоннель под проливом Невельского длиной 12,4 км для соединения Евроазиатского материка с островом Сахалин, тоннель под Беринговым проливом длиной 113 км на Трансконтинентальной железнодорожной магистрали между Европией и Северной Америкой, Архотский тоннель длиной 23,4 км через Главный Кавказский хребет. Эксплуатируется Мацестинский автодорожный тоннель в Краснодарском крае, по проектам ОАО «Ленметрогипротранс» велось строительство тоннельных комплексов № 1, 2 и 3 совмещенной (автомобильная и железная) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», железнодорожные тоннели № 6 бис (на участке Сочи – Адлер СКЖД), тоннели № 1 и 2 (с дренажной штольней) на участке Адлер – аэропорт СКЖД (олимпийские объекты «Сочи 2014») и др.

Свой вклад внес институт и в проектирование зарубежных метрополитенов: в Гаване (Куба), Будапеште (Венгрия), Калькутте (Индия), Хельсинки (Финляндия), Алжире и др., а также тоннелей различного назначения в ряде стран.

В 2010 г. мы успешно выполнили проект организации строительства по сооружению подземной части здания второй сцены Мариинского театра в Санкт-Петербурге.

ОГЛЯДЫВАЯСЬ НА ПРОЙДЕННЫЙ ПУТЬ...

Н. И. Кулагин, д. т. н., заслуженный транспортный строитель, советник ген. директора ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



В этом году 3 декабря исполняется 70 лет со дня образования в Ленинграде в системе Министерства путей сообщения (МПС) СССР филиала московского института «Метропроект» – «Ленметропроекта», первоначальная задача которому ставилась – обеспечить проектной документацией строительство в Ленинграде метрополитена, первого в стране после Московского. В 1954 г. было образовано Всесоюзное Министерство транспортного строительства, в которое, в Главтранспроект, был переведен вместе с другими транспортными проектными институтами и Ленметропроект, и в составе которого он проработал почти 50 лет, до приватизации в 1993 г. В связи с ростом объемов по проектированию транспортных объектов в стране – и метрополитенов, и транспортных тоннелей, в 1977 г. Ленметропроект, как имеющий к этому времени уже большой опыт и высокую квалификацию, был преобразован из филиала московского «Метропроекта» в самостоятельный институт «Ленметрогипротранс», и уже сам организовал несколько своих филиалов: в Северобайкальске, Новосибирске, комплексный отдел в Челябинске. А в 1984 г. Ленметрогипротранс был утвержден головным в Минтрансстрое по проектированию транспортных тоннелей.

Сегодня, оглядываясь в связи с 70-летним юбилеем на пройденный институтом путь, нельзя не отметить, насколько обширен и многообразен по своему назначению перечень всех объектов, которые были запроектированы коллективом института за все эти годы. И хотя институт проектировал транспортные объекты по всей большой стране СССР, находясь в Ленинграде – Пе-

тербурге, естественно коллектив откликался в первую очередь на потребности своего родного города.

В первое пятилетие с декабря 1946 г. коллектив много сил приложил не только к разработке проектной документации по первому участку первой линии метро от ст. «Автово» до ст. «Площадь Восстания». В эти годы он вел проектирование производственной базы Ленмостроя (заводы, промбазы, автопредприятия, карьеры, леспромхозы, а кроме того – жилые дома, детские сады, стадион). Более 60 наименований таких объектов было спроектировано только за период 1947–1949 гг. Параллельно с обеспечением чертежами и сметами строительства I участка метрополитена шла интенсивная разработка оборудования для строительства шахтных копров, проходческих механизмов, опалубок – всего того, что способствовало повышению темпов строительства.

Из биографий сотрудников первых трех десятилетий деятельности Ленметропроекта видна убедительная картина их участия в Великой Отечественной войне: многие были награждены орденами и медалями за ратный труд, за оборону родного города, за освобождение родины.

Орденов удостоены: «Красной звезды» – 17 человек, «Отечественной войны» – 9 человек, «Славы» – 3 человека, «Александра Невского» – 1 человек.

Медалями награждены: «За отвагу» – 5 человек, «За боевые заслуги» – 6 человек, «За оборону Москвы» – 6 человек, «За оборону Советского Заполярья» – 2 человека, «За оборону Казани» – 6 человек, «За оборону Сталинграда» – 1 человек, «За оборону Ленин-

града» – 30 человек, «За освобождение Варшавы» – 4 человека, «За взятие Будапешта» – 2 человека, «За победу над Японией» – 3 человека, «За взятие Берлина» – 3 человека, «За победу над Германией» – 32 человека.

Около 30 человек, тружеников тыла, награждены медалями «За доблестный труд в Великой Отечественной войне».

С первых дней работы в Ленметропроекте эти люди стремились воплотить в жизнь те передовые замыслы, которые хотя и давно «зрели» еще в Москве, но осуществление их сдерживалось по разным причинам.

Повышался опыт коллектива, прибавлялись знания об инженерно-геологических условиях строительства, крепили связи с наукой. В коллектив вливались новые силы, пришла большая группа молодых специалистов, за плечами которых стояли годы войны, а после нее учеба в высших учебных заведениях. Они принесли с собой порыв к творчеству, желание продолжить дело, начатое до них.

Коллектив института рос. К концу 1950 г. в нем было 146 сотрудников, в 1955 г. – уже 212. За все годы, начиная с 1946 по 1990, он постоянно достиг численности в 387 человек.

В 1993 г., в период перестройки всей экономики страны, его численность упала до 214 человек, но к 2016 г. снова возросла до 375 человек. За 70-летнюю историю в Ленметропроекте – Ленметрогипротрансе отработало около 1100 сотрудников (тех, кто трудился более трех лет).

Вместе с ростом численности росла квалификация, накапливался опыт работы над подземными объектами.

За 70 лет коллективом было спроектировано огромное количество введенных в эксплуатацию объектов.

Перечислим основные из них.

1. Метрополитены:

- метрополитен Ленинграда – Петербурга – 113,5 км (67 станций);
- первый участок первой линии метрополитена Казани – 8,13 км (5 станций), совместно с Казгражданпроектом;
- оказывалась помощь в проектировании метро в Москве, Самаре, Новосибирске, Красноярске, Челябинске, Екатеринбурге, Баку, Тбилиси, Алма-Ате, Киеве;
- разработаны генеральные схемы строительства метрополитена в Челябинске, Перми, Одессе, Донецке.

2. Тоннели железнодорожные:

- Юкспорский в Хибинах (2,6 км), Коршуновский в Саянах (0,98 км);
- на линии Абакан – Тайшет (6 тоннелей общей длиной 12,02 км);
- Инзерский на линии Белорецк – Карламан в Башкирии (0,42 км);
- 10 тоннелей БАМ (общей длиной 32,9 км);
- в Краснодарском крае (Лысогорский длиной 3 км и 10 тоннелей Сочи – Адлер – Красная Поляна общей длиной 12,6 км).

3. Тоннели автодорожные:

- Канонерский в Санкт-Петербурге (947 м);
- тоннель под Площадью Победы в Санкт-Петербурге (0,44 км);
- Рокский между Северной и Южной Осетией (3,66 км);
- тоннели в Сочи и на трассе Адлер – Красная Поляна (общей длиной 6,87 км).

4. Гидротехнические тоннели:

- Стрынский в предгорьях Карпат (7,41 км);
- в Ставропольском крае (6 тоннелей общей длиной около 18 км);
- Коршуновский в Саянах (0,98 км);
- 3 тоннеля в Киргизии (общей длиной 2,5 км).

5. Тоннели для науки:

- нейтринная лаборатория ФИАН СССР на Северном Кавказе;
- помехозащитная лаборатория в Ломоносове;
- подземная лаборатория голографических систем ЛИЯФ АН СССР в Гатчине.

Многим зарубежным странам была оказана помощь в проектировании тоннелей:

- 5 тоннелей общей длиной 4,4 км на железнодорожной линии Камышли – Алеппо – Латакия в Сирийской Арабской Республике;
- 9 железнодорожных тоннелей в Алжире и станция метро в его столице г. Алжире;
- первая линия метро (17 км с 17-ю станциями) в г. Калькутте в Индии;
- четвертая линия метро (5,4 км с 7-ю станциями) в г. Будапеште в Венгрии;
- метрополитен в г. Хельсинки в Финляндии;
- обследование железнодорожных тоннелей (134 тоннеля общей длиной 60,1 км) в Северной Корее и основные положения по их реконструкции;
- продажа лицензии на азотное замораживание грунтов в Словакии.

Были осуществлены перспективные разработки строительства крупных железнодорожных тоннелей:

- Архотский двухпутный железнодорожный тоннель длиной 23,4 км под Главным Кавказским хребтом (строительство начато в 1985 г., а затем остановлено);
- тоннель под Татарским проливом на островах Сахалин (длиной 12,4 км);
- тоннель под Беринговым проливом с Чукотки на Аляску (длиной 113 км);
- тоннель под Енисеем недалеко от порта Игарка (длиной 8,85 км);
- тоннель Высокоскоростной магистрали (ВСМ) Москва – Санкт-Петербург – Хельсинки под Невой (длиной 16,4 км).

Все годы существования института коллектив стремился внедрять в строительство новые эффективные конструктивные и технологические решения. К заслугам наших проектировщиков можно отнести:

- документацию для построенного методом погружных секций единственного в России Канонерского тоннеля под Морским каналом в Ленинграде (совместно с СКТБ Главмостостроя – ныне ЗАО «Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург»);
- новые конструкции станций метрополитена: колонные, односводчатые с разжатием обделки на породу; без боковых посадочных платформ; двухэтажный пересадочный узел на две линии станции «Спортивная»;
- обделки перегонных тоннелей с обжати-ем в породу; безмоментные, облегченные и блочные;
- проекты первых отечественных механизированных щитов для перегонных тоннелей метрополитена и механизмов за ними, позволивших достичь мировых рекордов проходки – до 1250 м в месяц;
- проекты механизированного щита диаметром 4,03 м и оборудования за ним для строительства в Ленинграде коллекторных тоннелей, а также шахтных комплексов с клетевым или скипоклетевым подъемами;
- внедрение на Ленинградском метрополитене впервые в мире автоматического вождения поездов и автоматизация всех технологических процессов;
- разработка и внедрение технологии низкотемпературного замораживания водоносных неустойчивых грунтов жидким и газообразным азотом и многое другое.

Будучи комплексным институтом и выполняя все разделы проектов метрополитенов и тоннелей – от изысканий до архитектуры, по мере роста объемов работ и расширения географии строящихся объектов институт в разные годы создал свои филиалы, впоследствии ставшие самостоятельными организациями: Бамтоннельпроект (Северобайкальск), Новосибметропроект (Новосибирск), Комплексный отдел метро в Челябинске. Потребность удовлетворять возросшие пожелания заказчиков привела к открытию в институте научно-исследовательского отдела, силами которого ведутся работы по геотехническому мониторингу грунтового

массива и тоннельных конструкций как в период строительства, так и при эксплуатации. Разрабатываются проекты укрепления грунтов, проводится обследование действующих или недостроенных тоннелей с внесением предложений по ремонту и достройке.

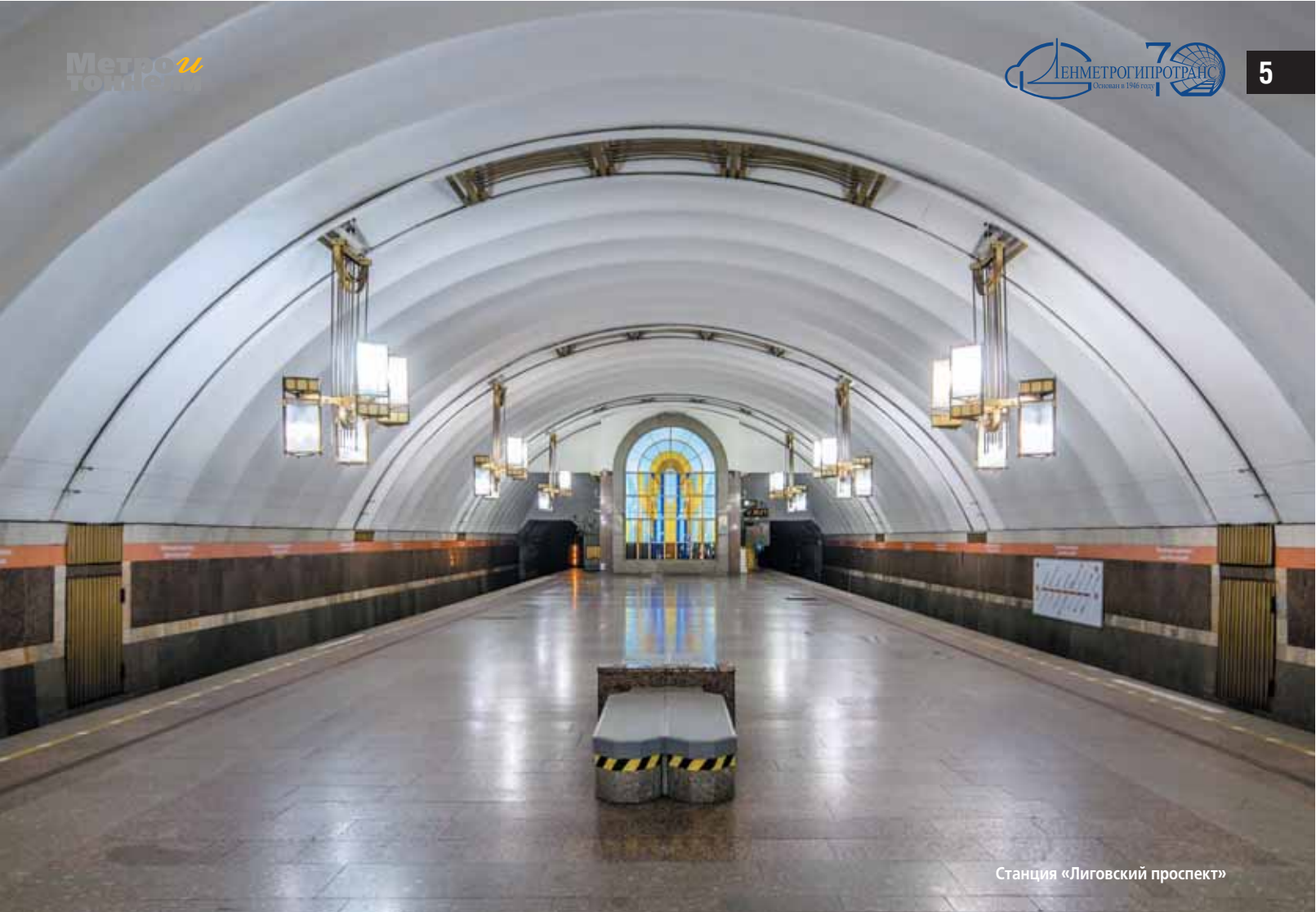
В институте в настоящее время трудятся 18 кандидатов и 3 доктора технических наук. Совместные работы и тесная связь с Трансстроем, со многими научно-исследовательскими институтами и профильными кафедрами высших учебных заведений всегда позволяли Ленметрогипротрансу квалифицированно решать поставленные задачи и возникающие проблемы. Участвуя в качестве члена Тоннельной ассоциации России в ее деятельности, институт выступал с докладами на конгрессах Международной тоннельной ассоциации в городах Штутгарте, Вене, Вашингтоне, Сеуле, пропагандируя достижения отечественной науки и техники, в частности, ее ленинградской школы.

Приятно отметить в дни юбилея успехи, награды, общественное признание. Это Государственные премии в области строительства, науки и техники, за строительство и внедрение новых конструкций и технологий, за безупречную репутацию в бизнесе и высокое качество продукции и услуг и многие другие награды. За выдающийся вклад в социально-экономическое развитие России в мае 2006 г. институту вручена Главная общественная премия России в номинации «Строительство. Транспорт» – «Российский Национальный Олимп – 2006». За всем этим стоял огромный труд коллектива, со всеми сложностями, «штурмами» перед пусками объектов в эксплуатацию, горечью в связи с имевшимися ошибками, случавшимися порой на стройках авариями, их ликвидацией и преодолением. Но это закаляло коллектив, заставляло мобилизовать все творческие и физические ресурсы и, извлекая уроки, идти дальше, смотреть в будущее нашей транспортной и тоннельной отрасли. И мечтать! А это значит – делать проекты будущих стро-ек, таких как Архотский двухпутный железнодорожный тоннель длиной 22,4 км (проект 1985 г., начатый строительством, которое, к сожалению, прекращено), железнодорожный под Татарским проливом на о. Сахалин длиной 12,4 км (ТЭО 2002 г.), двухпутный железнодорожный тоннель под Беринговым проливом длиной 113 км от Чукотки до Аляски, концепцию прокладки которого институт вместе с другими коллективами разработал в 1999 г.

70 лет институту Ленметрогипротранс!

Это была эстафета нескольких поколений проектировщиков. Это был путь коллектива, история которого продолжается. И пусть она, эта дорога, приведет к новым свершениям.

Я поздравляю своих коллег по институту, наших ветеранов, находящихся на заслуженном отдыхе, с большим праздником и желаю всем здоровья, а работающим – новых успехов в транспортном подземном строительстве.



Станция «Лиговский проспект»



Станция «Комендантский проспект»



Уважаемые коллеги!

Тоннельная ассоциация России поздравляет коллектив института «Ленметрогипротранс» с 70-летием со дня основания организации. Вся страна может гордиться теми транспортными сооружениями, которые являются плодом вашей инженерной мысли.

Метрополитен Санкт-Петербурга является украшением города и надежно служит жителям и многочисленным туристам Северной столицы нашей страны. Автодорожные, железнодорожные и городские тоннели, построенные по вашим проектам, обеспечивают доступ в самые отдаленные районы нашей необъятной страны.

Оригинальные в инженерном и архитектурном отношении проекты транспортных объектов, отвечающих самым высоким требованиям безопасности, как при строительстве, так и при эксплуатации, являются визитной карточкой вашего института.

В день 70-летия института желаем всему вашему дружному коллективу дальнейших успехов в вашей благородной творческой работе, реализации всех намеченных планов, ну и, конечно, крепкого здоровья и большого личного счастья.

Правление Тоннельной ассоциации России

3 декабря 1946 г. считается официальной датой основания Санкт-Петербургского института по проектированию тоннелей и метрополитенов ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» (до 1977 г. «Ленметропроект», филиал московского института «Метропроект»). Институт с первых лет своего существования активно включился в колоссальную по своим масштабам работу по восстановлению страны от разрухи, принесенной прошедшей войной, и возрождению нормальной жизни в одном из красивейших в мире городов – Ленинграде.

Развитие транспортной инфраструктуры города, создание в нем разветвленной сети современного метрополитена стало приоритетной задачей, поставленной перед специалистами института. И с этой задачей институт справился успешно – уже в 1955 г. в городе была пущена в эксплуатацию первая линия Ленинградского метрополитена. Тот факт, что в настоящее время в Санкт-Петербурге действует пять линий метрополитена с 67-ю красивейшими и удобными для пассажиров станциями и эксплуатационной длиной тоннелей более 110 км, свидетельствует об огромной и самоотверженной работе всех сотрудников института «Ленметрогипротранс», являющегося генеральным проектировщиком этого сложного инженерного сооружения.

Другим важным направлением деятельности института является проектирование транспортных тоннелей. Получив первый успешный опыт проектирования тоннелей на железнодорожной магистрали Абакан – Тайшет, институт в настоящее время является ведущей в стране организацией по проектированию железнодорожных и автодорожных тоннелей, в том числе в городских условиях. Институту есть, чем гордиться – Рокский тоннель под Главным Кавказским хребтом, автодорожные тоннели в Санкт-Петербурге, тоннели на Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, автодорожные и железнодорожные тоннели, проложенные в районе г. Сочи к зимним Олимпийским играм 2014 г., железнодорожные тоннели в Сирийской Арабской Республике – всё это служит сокращению расстояний между людьми и является плодом труда многих поколений специалистов института самого различного профиля.

В дни, когда Санкт-Петербург и вся наша страна отмечают 70-летие со дня основания ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» – ведущего в России института по проектированию тоннелей и метрополитенов, Тоннельная ассоциация России направляет всему коллективу института свои поздравления с этой знаменательной датой.

ЧТО НОВОГО В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАЗРАБОТКАХ К ЮБИЛЕЮ ОАО «НИПИИ «ЛЕНМЕТРОГИПРОТРАНС»

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



Ранее, в книге «Эпохи бурной круговерть» (пятое десятилетие Ленметрогипротранса) была представлена достаточно краткая статья «Становление научной деятельности в институте».

В настоящем материале даны следующие научно-технические достижения института за последний период времени.

1. Реализация комплексной программы по разработке и внедрению новых конструктивно-технологических решений с применением набрызг-бетонной крепи и опережающих забой инъекционных анкеров при строительстве подземных выработок Санкт-Петербургского метрополитена.

2. Сохранение исторической части города при строительстве тоннелей метрополитена.

3. Перспективы дальнейшего совершенствования конструкций и технологии строительства тоннелей Петербургского метрополитена.

Инженерно-геологические условия строительства Петербургского метрополитена достаточно разнообразны. С поверхности мощностью до 40 м развиты озерно-ледниковые отложения и две морены, лужская и московская, разделенные толщей межледниковых отложений водно-ледникового генезиса. Вся толща четвертичных отложений водонасыщена, грунты чрезвычайно неустойчивы. Под четвертичными отложениями располагается мощный слой плотных сухих протерозойских глин, который является удобной средой для строительства и эксплуатации подземных выработок метрополитена.

Строительство метрополитена глубокого заложения, которое ведется в Санкт-Петербурге на глубинах 50–70 м, вызывает смещения дневной поверхности земли на большой площади, составляющей несколько гектаров городской территории. Существующие до настоящего времени техноло-

гии строительства станционных узлов метрополитена и наклонных эскалаторных тоннелей вызвали значительные смещения вышележащей толщи грунта и деформации расположенных на ней зданий и сооружений, приводящие иногда к нарушению их конструкций и к полному выводу сооружений из эксплуатации.

Расселение аварийных зданий и их ремонт требуют значительных материальных затрат и времени на восстановление зданий. Особенно нетерпимо такое положение при строительстве метро в исторической части города, когда мемориальные здания и архитектурные памятники подвергаются полному разрушению. Поэтому чрезвычайно важным является разработка и внедрение технологий по предотвращению недопустимых деформаций существующих зданий и сооружений при строительстве метрополитена и других подземных сооружений в центральных районах Санкт-Петербурга.

Сдвигание грунта – результат строительства тоннеля, которое происходит вследствие следующих причин.

1. Мгновенное проседание грунта, вызванное проходкой тоннеля, зависит от величины смещения контура будущей выработки впереди забоя, расстояния от забоя до места установки обделки.

2. Мгновенные смещения контура будущей выработки начинаются на определенном расстоянии от забоя и заканчиваются тогда, когда обделка противодействует дальнейшему радиальному смещению грунтов.

3. Сдвигание, вызванные деформацией обделки тоннеля.

4. Длительные смещения (проседания) грунта в результате:

- консолидации грунта;
- деформаций ползучести грунта.

Для минимизации влияния строительства тоннелей метрополитена закрытым способом работ на дневную поверхность, здания и сооружения разработаны новые конструкции, технологии их сооружения и геотехническое сопровождение строительства.

В четвертичных водонасыщенных неустойчивых грунтах:

- комплексная стабилизация грунтов с применением струйной технологии и подмораживания при проходке эскалаторных тоннелей;
- сооружение эскалаторных тоннелей ТПМК с грунтовым пригрузом забоя;
- сооружение перегонных тоннелей ТПМК с гидравлическим пригрузом забоя;

- сооружение двухпутных перегонных тоннелей ТПМК с грунтовым пригрузом забоя.

В плотных глинах:

- разработка и применение обжатых на породу обделок: перегонных тоннелей, одностовчатых и колонных станций;
- опережающее забой (косвенное армирование) закрепление грунтов инъекционными фиброгласовыми анкерами.

Компенсационное инъецирование в зоны сдвижения и разуплотнения грунтов для недопущения превышения разности осадок зданий и сооружений, превышающих нормативные. Инъецирование ведется в зоны сдвижения и разуплотнения грунтов под зданиями. Разработано несколько способов ведения этих работ.

Неотъемлемой частью всех технологических процессов строительства тоннелей метрополитена является геотехнический мониторинг.

1. В 2007 г. была создана «Комплексная программа работ по разработке и внедрению новых конструктивно-технологических решений с применением набрызг-бетонной крепи и опережающих забой инъекционных анкеров при строительстве подземных выработок Санкт-Петербургского метрополитена».

Был разработан проект сооружения экспериментальной выработки с постоянной обделкой из набрызг-бетона.

В результате проектирования, строительства и проведенного геотехнического мониторинга приняты территориальные нормы на проектирование и строительство подземных выработок Петербургского метрополитена в кембрийских глинах с постоянной набрызг-бетонной обделкой.

На шахте № 620 был реализован проект строительства руддвора и венттоннеля в кембрийских глинах с применением малоосадочной технологии. Впереди забоя в сводовой части сооружали экран из труб длиной 7 м, который омоноличивается инъекционным раствором и инъекционные фиброгласовые анкера длиной 14 м [1]. Проходку осуществляли полностью механизированным способом с жесткой арочно-бетонной крепью. Во время строительства проводили геотехнический мониторинг.

Отсутствие деформаций на дневной поверхности дает основание говорить о реализации малоосадочной технологии строительства. Устойчивость выработки при заданных конструктивно-технологических параметрах была обеспечена.

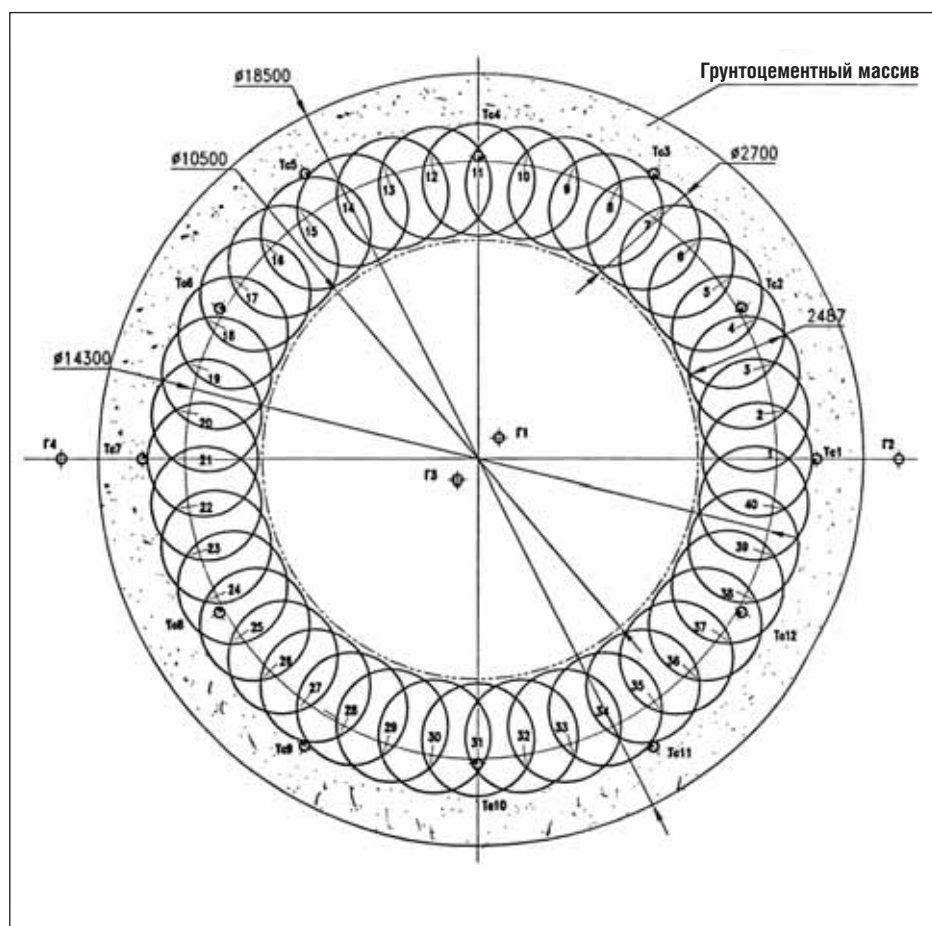


Рис. 1. Закрепление вмещающего тоннель массива: 1–40 – замораживающие скважины; Тс1–Тс8 – наблюдательные термометрические скважины; Г1–Г4 – гидрогеологические скважины

На основании опытного проектирования, строительства, результатов геотехнического мониторинга разрабатываются территориальные нормы по проектированию и сооружению подземных выработок Петербургского метрополитена в кембрийских глинах с применением опережающих забой экранов из труб и инъекционных анкеров.

Таким образом, работы, намеченные программой, были выполнены.

2. Сохранение исторической части города при строительстве метрополитена.

Опыт строительства метрополитена свидетельствует о том, что наибольшее влияние на величину осадок дневной поверхности при использовании традиционной («классической») технологии, основанной на методе контурного рассольного замораживания, оказывало сооружение эскалаторных тоннелей с разработкой забоя вручную (отбойными молотками) и креплением сборной обделки из чугунных тюбингов. Эта технология (замораживание грунта) приводила к деструктуризации грунта, что обычно сказывалось на увеличении осадок при его оттаивании уже после завершения проходки. В процессе пассивного замораживания наблюдались значительные деформации обделки пройденного участка тоннеля и поднятие поверхности над ним на величину до 40–60 мм. После завершения работ по первичному и

контрольному нагнетанию за обделку процесс замораживания прекращался. Во время оттаивания ледопородного цилиндра, сформировавшегося при замораживании, происходили значительные деформации обделки тоннеля и осадки земной поверхности. Максимальные величины деформаций дневной поверхности при строительстве эскалаторных тоннелей составляют 550 мм. Следствием этого являлись значительные повреждения и разрушения существующих зданий и сооружений.

Снижение влияния технологических процессов, сопровождающих строительство метрополитена, на состояние земной поверхности и связанную с этим сохранность зданий и сооружений имеет уникальное культурно-историческое значение. В некоторых случаях отсутствие технологического решения для снижения деформаций дневной поверхности откладывало на десятилетия строительство объектов метрополитена в исторической части Санкт-Петербурга.

Наиболее перспективным направлением решения этих проблем следует считать разработку малоосадочных технологий строительства выработок метрополитенов и внедрение конструктивных параметров их крепления, обеспечивающих минимизацию воздействия процессов строительства на деформации дневной поверхности.

Значительные смещения земной поверхности при использовании рассольного замораживания инициировали поиск и проверку новых технологий закрепления грунтового массива при сооружении эскалаторных тоннелей. Одной из таких технологий является так называемая комбинированная технология, сочетающая струйную технологию и рассольное замораживание грунта, реализованная при строительстве эскалаторного тоннеля станции «Звенигородская» [2].

Закрепление массива jet-сваями осуществлено рядами вертикальных скважин, пробуриваемых вдоль оси наклонного хода. Цементация производилась зонально, обеспечивая создание грунтоцементного ограждения необходимой толщины.

Для обеспечения безопасности проходки, наряду с цементацией было выполнено страховочное контурное замораживание (рис. 1) наклонными скважинами, перекрывающее возможные «окна» в цементном камне.

Замораживание выполнялось из расчета недопущения выхода контура заморозки за пределы закрепленного массива для обеспечения минимальных деформаций в процессе замораживания и последующего оттаивания. Разработка забоя осуществлялась экскаватором и отбойными молотками. Крепление тоннеля выполнялось в два этапа. При проходке возводили временную обделку, представленную стальными кольцами из двутавра с заполнением пространства между ними тяжелым бетоном. После проходки на всю длину, на временную обделку наносили обмазочную гидроизоляцию и возводили постоянную монолитную железобетонную обделку.

Эффективность использованной комбинированной технологии была подтверждена сопоставлением данных исследований деформаций дневной поверхности с «классической» технологией. Данные измерений показали, что при применении комбинированной технологии смещения земной поверхности были в 5 раз меньше.

Другое направление снижения осадок дневной поверхности при сооружении эскалаторных тоннелей связано с применением тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК), с системой грунтопригруза, способной поддерживать забой, уравнивая давление грунта и воды, а также воздействовать на грунт посредством нагнетания химических реагентов. ТПМК производства немецкой фирмы «Херренкнехт АГ» были применены для строительства эскалаторных тоннелей станции «Обводный канал», «Адмиралтейская» и «Спасская» (рис. 2).

Эскалаторный тоннель выполнен в сборной железобетонной обделке диаметром 10,4 м, толщина блоков 500 мм. Блочная железобетонная обделка – из водонепроницаемого бетона с резиновым уплотнением стыков. Заобделочное пространство за-

полняли специальным водонепроницаемым быстротвердеющим раствором, смешивание которого осуществлялось в момент его нагнетания.

Совершенствование технологии сооружения эскалаторных тоннелей с помощью ТПМК позволило добиться значительного снижения величины осадок дневной поверхности с 95 мм на станции «Обводный канал» до 46 мм на станции «Адмиралтейская» и 25 мм на станции «Спасская» (рис. 3).

Результаты выполненных исследований показывают, что даже в крайне неблагоприятных горно-геологических условиях Санкт-Петербурга негативное воздействие на осадки земной поверхности и связанный с этим процесс разрушения зданий, попадающих в зону мулдьды сдвижения, может быть снижено с помощью предлагаемых технологий сооружения и конструкций обделок наклонных эскалаторных тоннелей [3].

Во всех случаях при строительстве эскалаторных тоннелей проводили геотехнический мониторинг, в состав которого кроме контроля деформаций дневной поверхности входило определение напряженно-деформированного состояния системы «обделка – грунтовый массив». В грунтовом массиве в предварительно пробуренных вертикальных скважинах размещались датчики контроля гидростатического давления и экстензометры для контроля напряженно-деформированного состояния массива от контура тоннеля до дневной поверхности.

На основе результатов мониторинга принимали решения о проведении работ по компенсационному нагнетанию в основание зданий, попавших в зону влияния строительства эскалаторного тоннеля станции «Адмиралтейская».

Использование современных автоматизированных систем геотехнического монито-



Рис. 2. Начало проходки эскалаторного тоннеля станции «Обводный канал»

ринга грунтового массива (в комплексе с традиционными методами контроля) при проходке подземных сооружений различного назначения, особенно в условиях городской застройки, является эффективным элементом технологического процесса, позволяющим значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций и повысить эффективность защитных геотехнических мероприятий.

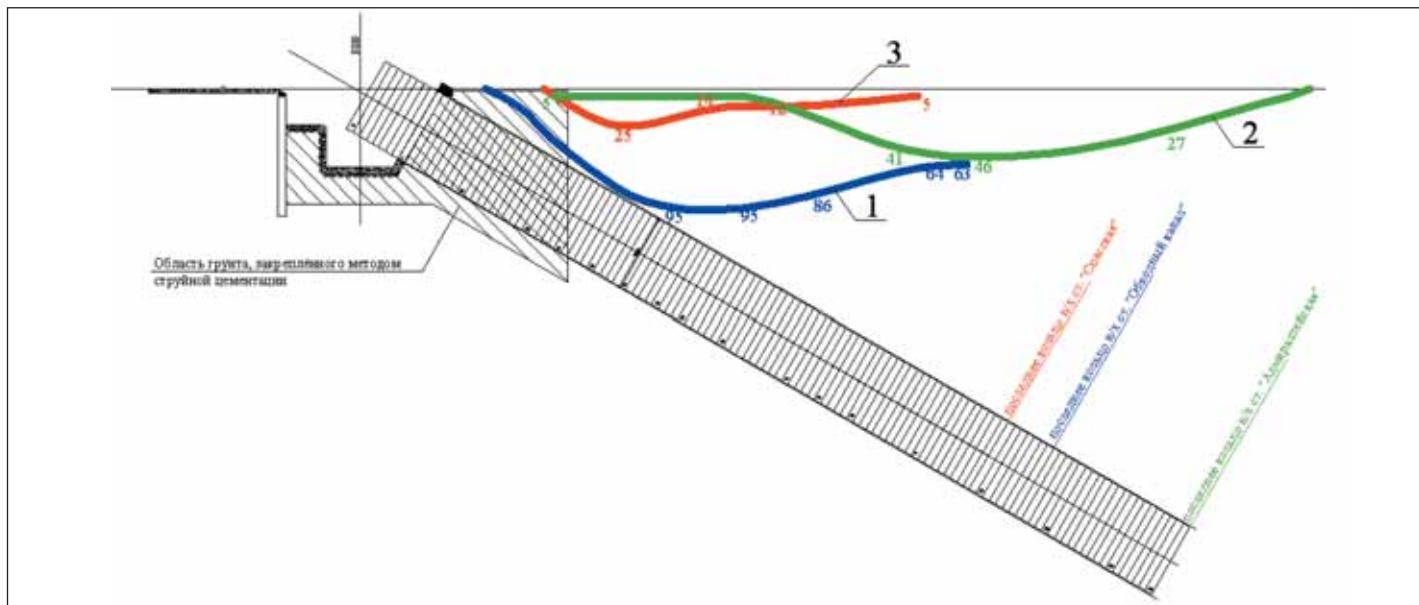
Полученные результаты напряженно-деформированного состояния системы «обделка – грунтовый массив» были сопоставлены с расчетными величинами, вычисленными методами механики сплошной среды. Сопоставление показало, что при применяемых технологиях и конструкциях в данных инженерно-геологических ус-

ловиях расчеты методами механики сплошной среды отражают реальную работу обделок подземных сооружений с вмещающим массивом. Внедряемые малоосадочные технологии строительства метрополитена позволили на порядок и более снизить осадки дневной поверхности по сравнению с классической технологией строительства эскалаторных тоннелей методом замораживания.

3. Перспективы дальнейшего совершенствования конструкций и технологий строительства тоннелей Петербургского метрополитена.

В 2013 г. была разработана комплексная программа: «Совершенствование технологий сооружения и постоянных конструкций Петербургского метрополите-

Рис. 3. Деформации дневной поверхности при строительстве эскалаторных тоннелей щитовым способом, мм: 1 – ст. «Обводный канал», 2 – ст. «Адмиралтейская», 3 – ст. «Спасская»



на», в которой определены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы для достижения поставленной цели.

3.1. Станции закрытого типа глубокого заложения в коренных протерозойских и кембрийских глинах.

Боковые тоннели проходят механизированными тоннелепроходческими комплексами «на проход» в составе перегонных тоннелей.

Средний зал сооружают с опережающими забой экраном и инъекционными фиброглассовыми анкерами, набрызг-бетонной крепью, являющейся элементом постоянной обделки. Далее возводят внутренний слой железобетонной обделки. Таким образом, сооружение среднего зала будет полностью механизировано.

3.2. Станции пилонного типа глубокого заложения в коренных протерозойских и кембрийских глинах.

Первый вариант:

- боковые тоннели проходят механизированными тоннелепроходческими комплексами «на проход» в составе перегонных тоннелей;

- затем боковые тоннели дорабатывают до необходимого диаметра со сборной железобетонной обделкой;

- осуществляют сооружение среднего тоннеля с опережающими забой экраном и фиброглассовыми инъекционными анкерами с крепью из набрызг-бетона с арками, либо аркобетона, причем крепь является элементом постоянной обделки, затем сооружают второй слой монолитной, железобетонной обделки. При таком способе можно механизировать все технологические процессы;

- далее сооружают проходы между средним и боковыми тоннелями.

Второй вариант:

- боковые тоннели проходят с опережающими забой экраном и фиброглассовыми инъекционными анкерами и креплением выработки набрызг-бетоном с арками, либо аркобетоном, которые являются элементом постоянной конструкции, затем сооружают внутренний слой обделки из монолитного железобетона;

- средний тоннель также сооружают с опережающими забой экраном в своде и инъекционными фиброглассовыми анкерами, креплением набрызг-бетоном с арками, либо аркобетоном, причем крепь является наружным слоем обделки, внутренний слой из монолитного железобетона;

- затем сооружают ходки между средним и боковыми тоннелями.

3.3. Односводчатые станции.

В ранее разработанную технологию строительства и конструкцию станций вводятся:

- опережающее забой крепление грунтового массива фиброглассовыми инъекционными анкерами;

- механизированная разработка грунта при сооружении верхнего свода.

3.4. Эскалаторные тоннели.

3.4.1. Проходка с помощью ТПМК:

- удешевление конструкции обделки за счет уменьшения армирования;

- исключение компенсационного инъектирования за счет более тщательного заполнения зазора между обделкой и грунтом и более оптимальными режимами грунтопригруза.

3.4.2. Сооружение тоннеля с предварительной комплексной стабилизацией четвертичных отложений:

- совершенствование технологии комплексной стабилизации грунтов;

- совершенствование методов контроля комплексной стабилизации грунтов;

- применение пленочной гидроизоляции с дренающим слоем из геотекстиля;

- уменьшение армирования внутреннего слоя обделки;

- учет арочно-бетонной крепи, как элемента постоянной конструкции тоннеля.

3.5. Дальнейшая разработка и внедрение малоосадочных технологий.

Строительство новых подземных линий метрополитена будет проходить и в местах плотной городской застройки, где сохранение зданий и сооружений, особенно в исторической части города, чрезвычайно важно.

Поэтому необходимо и далее развивать и разрабатывать малоосадочные технологии:

- комплексная стабилизация водонасыщенных четвертичных отложений;

- опережающие забой экраны из труб и фиброглассовые инъекционные анкера при проходке в плотных глинах;

- проходка тоннелей в четвертичных водонасыщенных грунтах с пригрузом забоя с помощью ТПМК;

- компенсационное инъектирование в грунтовой массив под зданиями и сооружениями в места разуплотнений при проходке подземных выработок;

- обжаты на породу обделки.

3.6. Применение новых материалов при создании аналогов армированных бетонных и набрызг-бетонных конструкций.

С целью удешевления конструкций на основе бетона:

- разработка фибробетона и фибронабрызг-бетона, армированных синтетическим строительным волокном BARCHIP;

- разработка фибробетона и фибронабрызг-бетона, армированных базальтовым волокном;

- разработка бетонных конструкций, армированных неметаллической композитной арматурой периодического профиля;

- разработка фибробетона, армированного стальной арматурой;

- разработка фибробетона, армированного неметаллической композитной арматурой.

3.7. Разработка концепции проектов строительства шахтных стволов, в том числе эксплуатируемых, на станциях, оснащенных только одним эскалаторным тоннелем.

На сегодняшний день при реконструкции подземного вестибюля и эскалаторного тоннеля станция выходит из эксплуатации, не решен вопрос пользования метрополитеном инвалидами с ограниченными двигательными функциями.

3.8. Проектирование и строительство двухпутных перегонных тоннелей в четвертичных отложениях с помощью ТПМК с пригрузом забоя и боковыми посадочными платформами, станционными узлами.

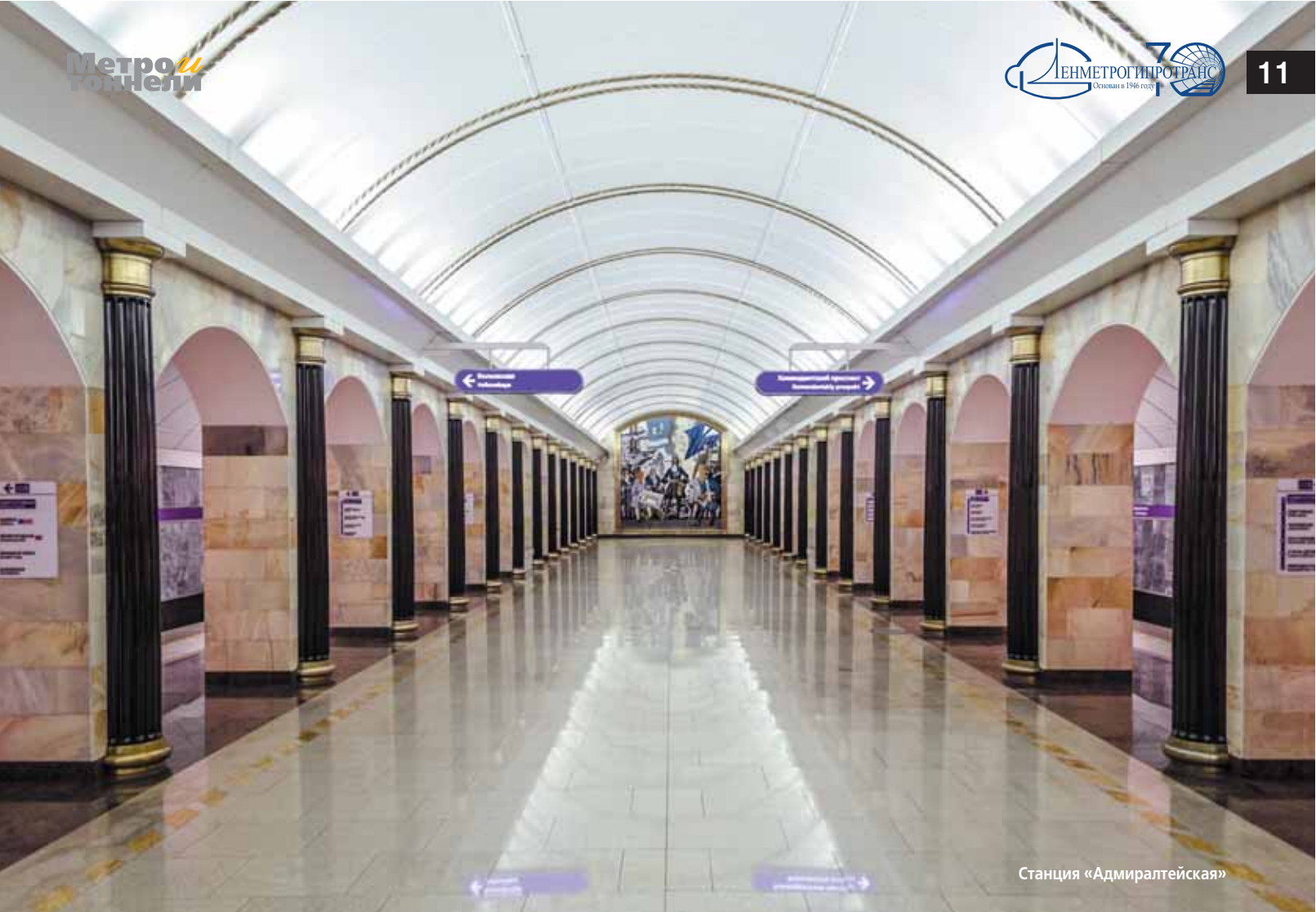
3.9. Осуществлять научное сопровождение и геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации постоянных конструкций Петербургского метрополитена.

На двух линиях метрополитена: Фрунзенской и Невско-Василеостровской при строительстве в четвертичных отложениях и твердых глинах разработаны технология сооружения и конструкция обделки для двухпутных перегонных тоннелей при их проходке ТПМК с грунтовым пригрузом забоя. При проходке проводили комплексный геотехнический мониторинг, который позволил откорректировать технологические параметры проходки и изучить напряженно-деформированное состояние системы тоннель – вмещающий массив [4].

Громадный объем работ был выполнен и при строительстве автодорожных и железнодорожных тоннелей. И, прежде всего, это тоннели Туапсе – Адлер, обход г. Сочи и трасса Адлер – Красная Поляна. Для обеспечения безопасности при проходке тоннелей вели горно-экологический мониторинг, который затем переходил и на период эксплуатации [5].

Список литературы

1. Маслак В. А., Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Захаров Г. Р., Ледаев А. П., Старков А. Ю. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга. – *Метро и тоннели* – 2012, № 6.
2. Безродный К. П., Маслак В. А., Лебедев М. О., Старков А. Ю., Морозов А. В., Уханов А. В. Комбинированная технология стабилизации грунтов при сооружении эскалаторных тоннелей станций Петербургского метрополитена. – *Метро и тоннели* – 2000, № 5.
3. Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Старков А. Ю., Лаптев Н. А., Морозов А. В., Уханов А. В. Геотехнический мониторинг сопровождения строительства эскалаторных тоннелей с помощью ТПМК. – *Метро и тоннели* – 2012, № 1.
4. Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Старков А. Ю. Геотехническое обеспечение при строительстве двухпутного перегонного тоннеля с помощью ТПМК. – *Метро и тоннели* – № 5, 2015 г., с. 16–18.
5. Безродный К. П., Лебедев М. О., Штыров В. Г. Олимпийские транспортные тоннели: горно-экологический мониторинг. – *Подземные горизонты*. – № 4, 2015 г., с. 20–25.



Станция «Адмиралтейская»



Станция «Волковская»

Комитет по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга

Уважаемый Владимир Александрович!

От имени сотрудников Комитета по развитию транспортной инфраструктуры Санкт-Петербурга и от себя лично поздравляю инженерную группу ОАО «Ленметрогипротранс» с 70-летним юбилеем!

В этот знаменательный день хочется выразить Вам и Вашему коллективу благодарность и признательность за неоценимый многолетний труд и высокий профессионализм! Ленметрогипротранс – старейшая компания в России, по проектам которой созданы и эксплуатируются пять линий Петербургского метрополитена, самого востребованного вида общественного транспорта в нашем городе. Ваша научно-исследовательская и проектная деятельность неоднократно была отмечена наградами на высшем государственном уровне, а специалисты Ленметрогипротранса снискали огромное уважение профессионального сообщества. В этот день хотелось бы отметить трудолюбие работников Вашей организации и ответственное отношение к решению поставленных задач.

От всего сердца желаю всем сотрудникам ОАО «Ленметрогипротранс» крепкого здоровья, счастья, успехов во всех начинаниях и реализации новых проектов!

Пользуясь случаем, благодарю Вас за плодотворное сотрудничество и оказание содействия по всем текущим вопросам, а также эффективное взаимодействие в разработке и реализации совместных проектов.

*Председатель Комитета
Харлашкин Сергей Викторович*



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗВЕДЕНИЯ «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» ПО ДАННЫМ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО МЕЖСКВАЖИННОГО ПРОСВЕЧИВАНИЯ



Ю. С. Исаев,
к. т. н., начальник научно-исследовательского отдела ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



О. В. Бойко,
к. т. н., старший научный сотрудник ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



К. А. Дорохин,
научный сотрудник ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»



Е. В. Костромитина,
научный сотрудник ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В настоящее время в метростроении широко распространена технология «стена в грунте», которая является прогрессивным и универсальным решением устройства ограждающей, несущей и противofiltrационной конструкции при строительстве подземных сооружений, возводимых в открытых котлованах. Сущность способа «стены в грунте» заключается в образовании под защитой глинистого раствора траншеи (выработки) с вертикальными стенками с последующим армированием и заполнением траншеи бетонным раствором (рис. 1). Такой способ дает возможность устраивать фундаменты и подземные сооружения практически любой глубины (4–50 м и более). Обычно глубина конструкций ограничивается возможностями применяемой землеройной машины. Способ «стены в грунте» используется в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях и во многих случаях позволяет отказаться от забивки шпунта, различного рода креплений, водопонижения и замораживания. Способ «стены в грунте» эффективен при высоком уровне подземных вод при заглублении конструкции в прочный и водоупорный слой, и в стесненных условиях строительства, при устройстве глубоких подземных сооружений [1].

При всех достоинствах сооружения «стены в грунте», которые тяжело переоценить, есть один недостаток, который заключается в том, что все работы по устройству и заливке стены бетонным раство-

ром происходят «вслепую». Соответственно, возможны ситуации некачественного замещения грунтов бетонным раствором, наличием линзовидных грунтовых включений, обусловленных локальным обрушением стенок траншеи в период заливки бетона, а также ослабление прочности бетона из-за суффозионного выноса частиц цемента до схватывания бетонной смеси при повышенном гидростатическом давлении в сильно обводненных слоях (рис. 2). Вышеотмеченные факторы некачественного возведения «стены в грунте» могут

привести к внезапной потере устойчивости стены и к её, как минимум, локальному разрушению в процессе выработки грунта в котловане со всеми вытекающими отсюда негативными последствиями и, главное, по обеспечению безопасности работ.

Поэтому до начала работ по разработке котлована предусматривается обследование качества возведения «стены в грунте»: оценка её сплошности, определение наличия и местоположения ослабленных зон и зон с пониженной прочностью бетона и пр. Это позволяет ещё до начала разработ-

Рис. 1. Схема производства работ по сооружению «стены в грунте»

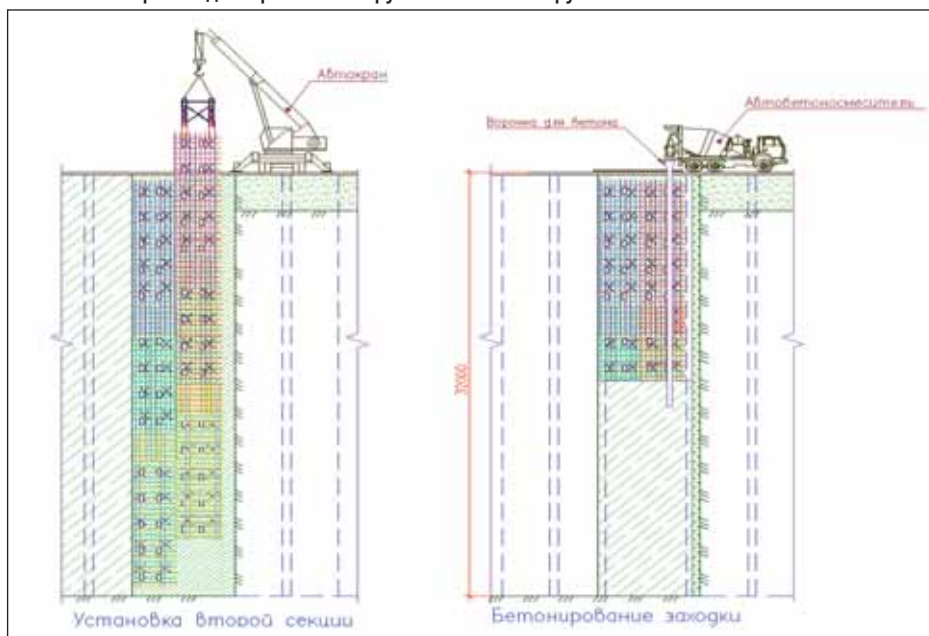




Рис. 2. Локальные участки некачественного заполнения бетоном (Санкт-Петербург, обследование «стены в грунте» на ст. «Беговая»)

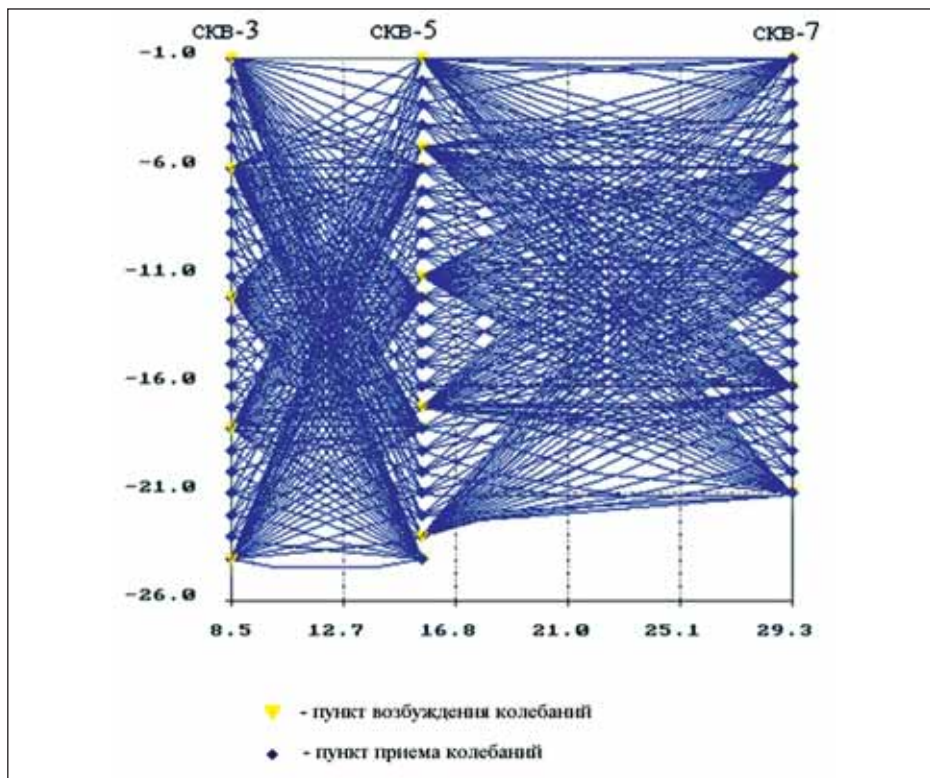
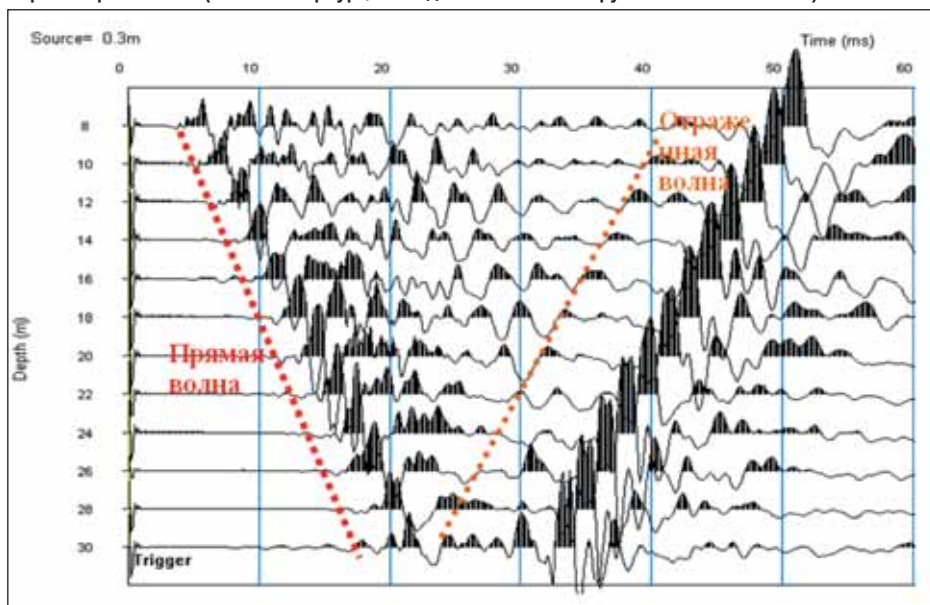


Рис. 3. Схема веерной встречной системы наблюдений при межскважинном сейсмоакустическом исследовании сплошности конструкции «стены в грунте»

Рис. 4. Сейсмограмма с первыми вступлениями продольных волн и отраженной волной от подошвы стены в скважине 6В на интервале 8–30 м. Источник находится в скважине 7В на глубине 0,3 м от верхней грани стены (Санкт-Петербург, обследование «стены в грунте» на ст. «Беговая»)



ки котлована выполнить дополнительные меры по усилению конструкции стены в тех местах, где возможны ее разрушения и/или протечки (прорывы) грунтовых вод в котлован.

В настоящее время для контроля качества исполнения строительных работ (скрытых и не скрытых) широко применяются геофизические методы и средства неразрушающего контроля и диагностики [2–8], например, методы интроскопии, т. е. «видения» внутреннего строения посредством сейсмоакустических, ультразвуковых и электромагнитных волн, рентгеновских, тепловых лучей и пр. Методы интроскопии делятся на теневые и локационные. Теневые методы основаны на «просвечивании» объекта исследований сейсмоакустическими и/или иными волнами или лучами. Локационные методы основаны на способности сейсмоакустических или иных волн отражаться от внутренних границ и неоднородностей при их распространении в изучаемом объекте.

В настоящее время обследование качества возведения «стены в грунте» наиболее эффективным образом осуществляется с помощью сейсмоакустического межскважинного просвечивания (прозвучивания) в варианте сейсмотомографического 2D-представления изучаемого межскважинного пространства по кинематическим параметрам распространения упругих волн и связанных с ними прочностными характеристиками (коротко межскважинная сейсмотомография – МСТ).

Методика межскважинной сейсмотомографии (МСТ) состоит в возбуждении упругих колебаний в одной скважине и приеме их в другой. Для этих целей на стадии арматурных работ к конструкции арматурного каркаса стены «подвешиваются» тщательно затампированные металлические или пластиковые обсадные трубы, которые будут выполнять роль скважин после наполнения стены бетонным раствором. По опыту работ для получения качественного материала, пригодного для интерпретации, расстояние между скважинами должно находиться в интервале 5–15 м. После завершения работ МСТ все скважины ликвидируются путем заполнения бетонным раствором.

В практике работ по межскважинным сейсмотомографическим исследованиям в зависимости от конкретных задач и условий применяются различные системы наблюдений. Как правило, для решения поставленной задачи необходима детальность исследований обеспечивает веерная система наблюдений, в которой прозвучивание межскважинного пространства осуществляется в двух встречных направлениях (рис. 3).

Физический предел разрешающей способности метода лучевой сейсмотомографии соизмерим с размером первой зоны Френеля h :

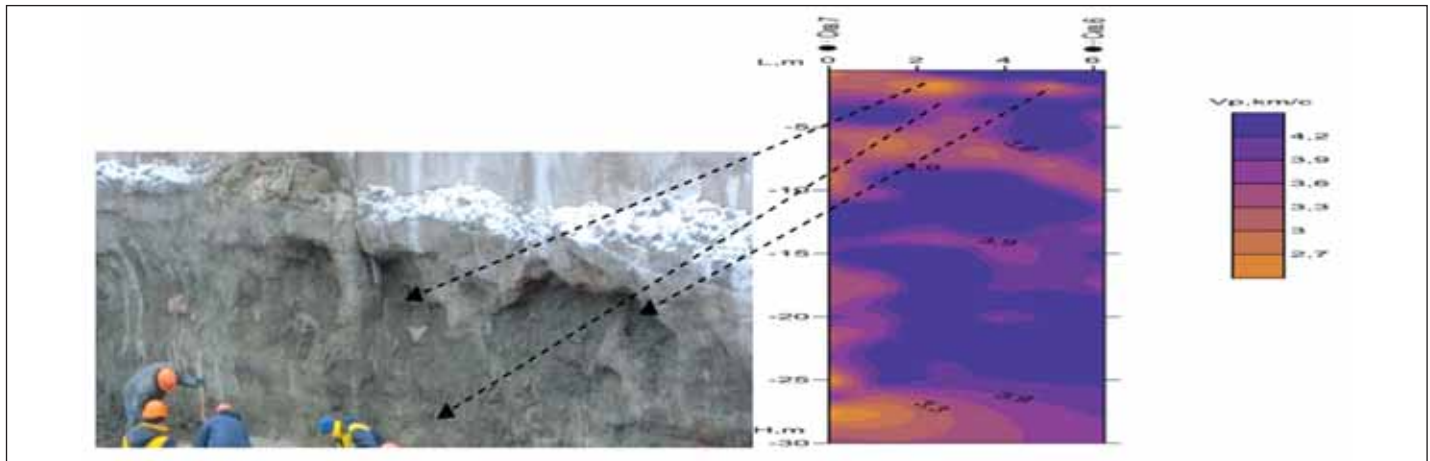


Рис. 5. Пример сейсмотомографического разреза. Соотношение низкоскоростных аномалий с данными визуального обследования после вскрытия котлована (Санкт-Петербург, обследование «стены в грунте» на ст. «Беговая»)

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda \cdot l},$$

где λ – длина волны;
 l – длина луча.

Таким образом, чем меньше длина волны и длина луча, тем выше будет разрешающая способность метода лучевой сейсмотомографии.

Использование размеров зоны Френеля для оценки разрешающей способности лучевой сейсмической томографии справедливо при наличии локальных и периодических аномалий скорости. Обнаружение локальных аномалий скорости (одиночных неоднородностей) эффективно при условии, что их размер больше или равен диаметру зоны Френеля, а также при изучении субгоризонтальных структур слоистого разреза. Изучение структуры аномалий скорости (на качественном уровне) возможно и при размере неоднородностей меньше зоны Френеля, но только в случае идеального лучевого и углового покрытия, то есть наличия плотной системы лучей.

Технологический процесс обработки и интерпретации материалов скважинных исследований происходит в два основных этапа: сейсмотомографическая обработка с построением томографических скоростных и плотностных разрезов; анализ сплошности «стены в грунте» и оценка прочности бетона.

Основой для обработки являются сейсмограммы сейсмических записей, полученные от каждого дискретного положения источника возбуждения колебаний при межскважинном просвечивании (рис. 4).

По результатам предварительной обработки создается массив данных для последующего томографического построения, который представлен совокупностью значений времен пробега прямой продольной волны в массиве объекта между источниками возбуждения и приемниками упругих колебаний. Также учитываются соответственно каждому положению источника и приемника их пространственные координаты.

Томографическая обработка материалов скважинной сейсморазведки сводится в ко-

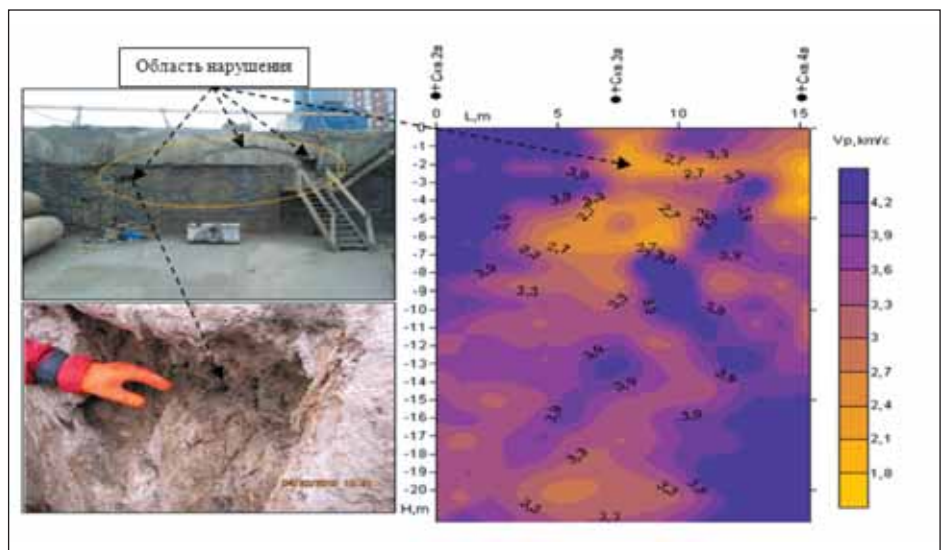


Рис. 6. Пример сейсмотомографического разреза. Соотношение скоростных низкоскоростных аномалий с данными визуального обследования после вскрытия котлована (Санкт-Петербург, обследование «стены в грунте» на ст. «Беговая»)

нечном итоге к получению кинематических разрезов (рис. 5 и 6), характеризующих особенности распределения значений скоростей прямой продольной волны в массиве изучаемого объекта.

Определение прочности по данным распределения скоростей основано на корреляционной связи между скоростью продольной волны и величиной предела прочности на сжатие. Скорость продольной волны в пределах действия малых идеально упругих деформаций является инвариантной (не зависящей от частоты) характеристикой исследуемых материалов, это свойство позволяет проводить интерпретацию результатов сейсмических измерений скорости V_p (частоты ~ от 1-х единиц до 2–5 кГц) по данным лабораторных ультразвуковых (частоты ~ десятки и сотни кГц) определений по образцам. В данном случае корреляционные уравнения связи скорости ультразвука с прочностью можно использовать для оценок прочности бетона в конструкции «стена в грунте» по скоростям сейсмических волн, установленных по данным межскважинного сейсмоакустического просвечивания.

В актуализированном 01.01.2014 г. ГОСТ 17624-2012. «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» в Приложении Г приводится универсальная градуировочная зависимость, которую используют для ориентировочной оценки прочности бетона в конструкции «стены в грунте».

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

На основании получаемых томографических разрезов по распределению предела прочности на сжатие, качественно выявляются зоны с пониженными прочностными характеристиками, количественно оцениваются уровни понижения параметров.

На приведенном примере (рис. 7) представлены разрезы по распределению параметров прочности бетона, которые рассчитаны по данным сейсмотомографических разрезов (см. рис. 5 и 6).

На разрезе между скважинами 2А–3А–4А отмечаются две зоны (помечены маркером) с пониженными прочностными параметрами. На выделенных участках прочность бетона

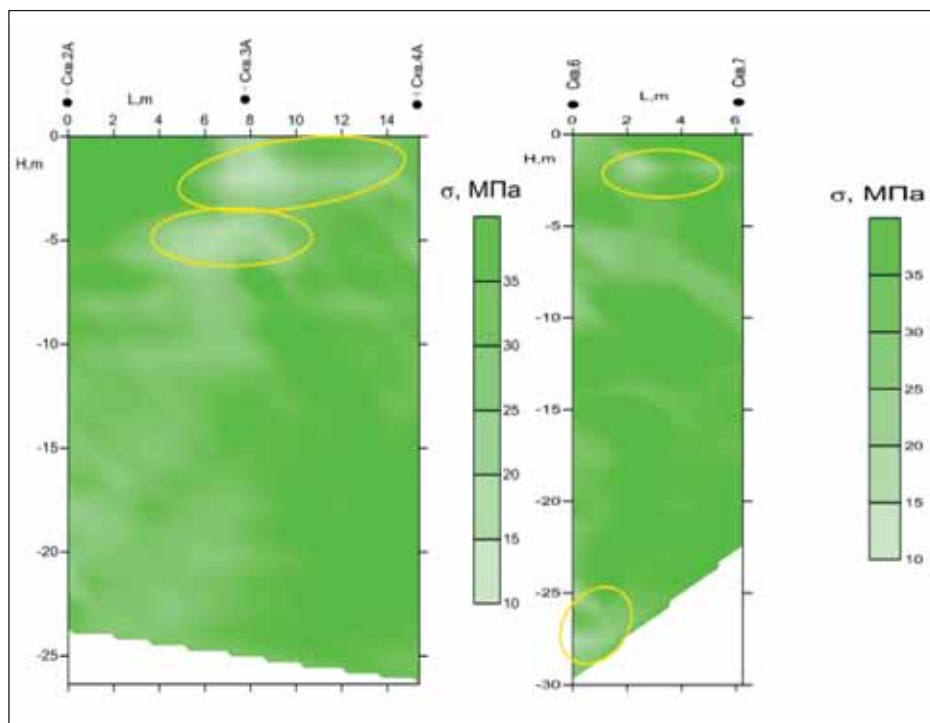
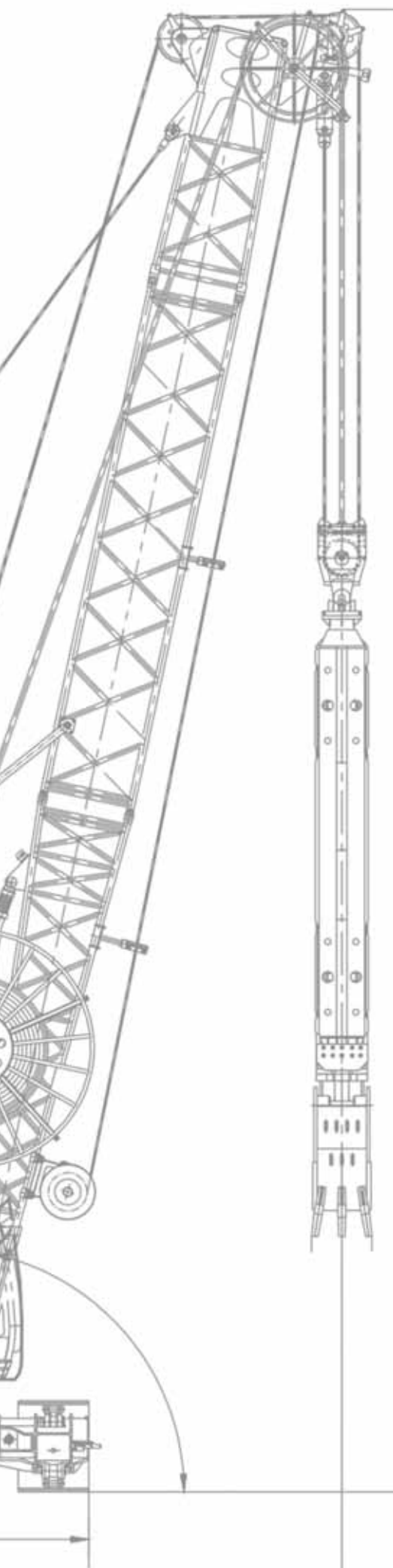


Рис. 7. Пример томографического разреза «стены в грунте» между скважинами 2А–3А–4А и скважинами 6–7 по пределу прочности на сжатие

находится в интервале 17–20 МПа. На разрезе между скважинами 6–7 также отмечены две области с пониженными прочностными характеристиками, которые находятся в области 16–20 МПа. При этом средневзвешенные характеристики стены как между скважинами 2А–3А–4А, так и между скважинами 6–7 находятся в области не ниже 25 МПа. По этим материалам было отмечено, что размеры и локальный характер выявленных аномалий, величина их градиентного снижения не повлияют на конструктивные способности стены в целом, однако их наличие требует повышенного внимания при разработке котлована и готовности проведения укрепительных работ на этих местах.

Выводы

С использованием МСТ к настоящему времени обследовано около 1750 п. м конструкций «стены в грунте» на участках строительства станций Петербургского метрополитена: «Дунайская», «Спортивная-2», «Новокрестовская», «Беговая». По результатам этих обследований было отмечено, в целом, высокое качество выполнения работ по устройству и возведению «стены в грунте». При этом было выявлено незначительное количество отдельных, небольших по площади (до 1–2 м²), локальных аномальных зон в стене, обусловленных непроектным заполнением бетонным раствором в виде линзовидных субгоризонтальных тел, заполненных грунтовыми массами, а также зон с пониженными прочностными характеристиками бетона, возникшими, вероятно, в результате суффозионных процессов в водонасыщенных слоях массива. Выявленные аномальные зоны в большинстве случаев были подтверждены при выработке грунтов

в котловане, после чего, при необходимости, проводились дополнительные мероприятия по усилению и гидроизоляции конструкции в местах не слишком качественного возведения стены.

Список литературы

1. «Технология возведения подземной части зданий и сооружений» Учебное пособие для вузов, под ред. Е. Л. Темкина. М.: Стройиздат, 1990.
2. Глушко В. Т., Ямщиков В. С., Яланский А. А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. М., Недра, 1978.
3. Горяинов Н. Н., Ляховицкий Ф. М. Сейсмические методы в инженерной геологии. – М.: Недра, 1979.
4. Густовссон М., Ивассон С., Морен П., Пыл Ю. Сейсмическая скважинная томография – система измерений и полевые эксперименты. ТИИЭР, 1986.
5. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. – М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009. – 68 с.
6. Николаев А. В. Проблемы геотомографии. Сборник научных трудов. – М.: Наука, 1997.
7. Савич А. И., Куянджич Б. Д. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений. – М.: Недра, 1990.
8. Савич А. И., Яценко З. Г. Исследования упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. – М.: Недра, 1979.
9. Ямщиков В. С. Методы и средства исследований и контроля горных пород и процессов. – М., Недра, 1982.



Станция «Международная»



Станция «Бухарестская»

Дорогой Проектировщик!

*Ты памятник себе воздвиг нерукотворный,
Твои проекты разошлись по всей стране:
Кавказ, и Сочи, и Казань, тоннели БАМа,
Без ЛМГТ теперь не строят и в Москве!*

*Твои традиции – заслуга ветеранов,
Поддержка их – дорога молодым.
Залог успеха – работа без изъянов,
Годами закаленный коллектив.*

*Санкт-Петербург гордится Вами вправе!
ЛМГТ и впредь не подведет!
Пусть сбудутся мечты, надежды, планы!
Подземный город Петербурга расцветет!*

*СПб ГКУ «Дирекция
транспортного строительства»*



ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ



М. О. Лебедев,
к. т. н., заведующий
лабораторией
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Р. И. Ларионов,
к. т. н., старший
научный сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Г. Д. Егоров,
младший научный
сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



А. В. Попович,
инженер научно-иссле-
довательского отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

При строительстве новых участков Санкт-Петербургского метрополитена приняты совершенно новые технологические, конструктивные и объемно-планировочные решения. Немаловажную роль при реализации этих проектов оказывает проведение геотехнического мониторинга, являющегося неотъемлемой частью технологического процесса строительства.

Результаты мониторинга позволяют дать оценку и вносить корректировки в конструкции обделок и технологические параметры проходки для внедряемых технологий при строительстве объектов метрополитена мелкого заложения. Отмечена эффективность применения автоматизированных систем мониторинга, позволяющая значительно снизить риски возникновения аварийных ситуаций и повысить эффективность мероприятий, принимаемых на основе результатов мониторинга.

Санкт-Петербургский метрополитен считается одним из самых глубоких в мире. Средняя глубина заложения подземных сооружений метрополитена в 60 м была вызвана необходимостью их размещения в инженерно-геологических условиях, обеспечивающих водонепроницаемость. Станционные комплексы и перегонные тоннели размещаются в плотных кембрийских глинах под мощным слоем (до 40 м) водонасыщенных четвертичных отложений.

А в условиях четвертичных отложений, как правило, размещались только эскалаторные тоннели и ветки перегонных тоннелей в депо. Для этих сооружений принимались наиболее сложные технологии строительства с предварительным замораживанием грунтов, и конструкции обделок для обеспечения водонепроницаемости.

Применение современных тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) с активным пригрузом забоя дает возможность строить тоннели в любых инженерно-геологических условиях Санкт-П-

тербурга, а отработанные технологии по устройству «стены в грунте» – осуществлять строительство многопролетных конструкций станционных узлов.

В настоящее время наряду с развитием метрополитена глубокого заложения в центральной части города выполняется строительство новых участков метрополитена, но уже мелкого заложения. За последние 20 лет были внедрены новые решения по организации работ, конструктивным решениям крепей и обделок, учитывающих мировой опыт строительства подземных сооружений и разработанных специально для Санкт-Петербургского метрополитена институтом ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» [1, 2].

Строительство подземных сооружений, в том числе и принятые технологии, влечет за собой изменение напряженного состояния вмещающего массива, которое оказывает влияние на безопасность горнопроходческих работ, устойчивость системы «обделка - вмещающий массив», и в конечном итоге на деформации дневной поверхности.

Важную роль в уточнении расчетных положений, безопасности горнопроходческих работ выполняет геотехнический мониторинг. В Российской Федерации необходимость проведения мониторинга предусмотрена нормативно-технической документацией, утвержденной федеральными органами власти. Задачи мониторинга назначаются отдельно для каждого подземного сооружения, в зависимости от оценки влияния его строительства на окружающую среду. Геотехнический мониторинг является одним из разделов проектной документации, которая проходит Главгосэкспертизу.

Первый перегонный тоннель, построенный в пределах четвертичных отложений при помощи ТПМК с грунтовым пригрузом забоя, располагается между станциями «Южная» – «Дунайский проспект» – «Проспект Славы» продления Фрунзенского радиуса [3]. Этот же тоннель является первым в истории отечественного метростроения перегонным тоннелем, построенным в двухпутном исполнении с внешним диаметром 10,3 м. В зо-

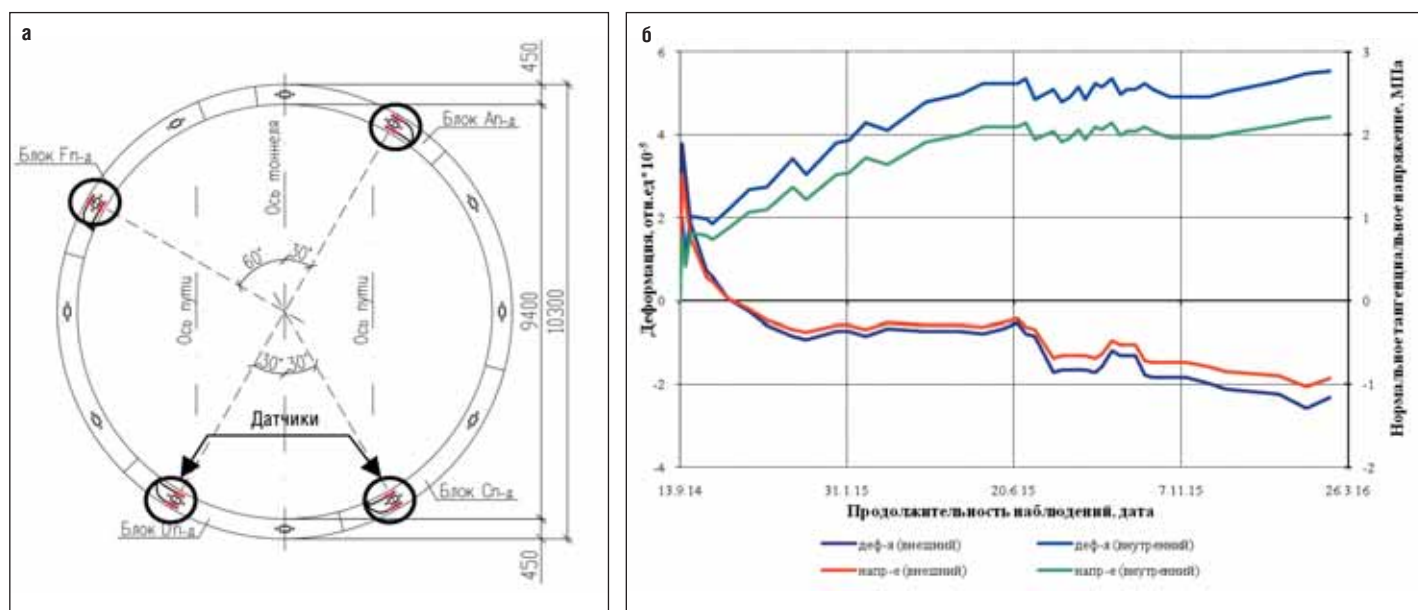


Рис. 1. Схема размещения датчиков в обделке двухпутного перегонного тоннеля (а) и характерный график формирования усилий во временной обделке на внешнем и внутреннем контуре (б)

ну влияния строительства тоннеля попадали КАД (кольцевая автодорога), железнодорожные пути, здания и сооружения, трамвайные пути и автомобильные дороги.

Для оценки негативного влияния горных работ на безопасность при строительстве и своевременного предупреждения аварийных ситуаций, а также наличия оперативной информации о состоянии системы «тоннель-массив», в состав геотехнического мониторинга были включены следующие задачи:

- для подземных сооружений: контроль напряженно-деформированного состояния обделки; контроль заполнения заобделочного пространства; поверочные расчеты с учетом результатов натурных исследований;
- для вмещающего массива: инженерно-геологический и гидрогеологический прогноз впереди забоя; контроль глубинных деформаций и определение фактических деформационно-прочностных свойств вмещающего массива;
- для существующей застройки и дневной поверхности: визуальный и инструментальный мониторинг зданий; контроль осадок дневной поверхности.

Определение напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля выполняется при помощи контрольно-измерительной аппаратуры, размещаемой в блоках при их изготовлении. По измеренным местным относительным деформациям вычисляют напряжения. В бетонных и железобетонных конструкциях напряжения вычисляют по специальной методике с учетом загрузки бетона в раннем возрасте и его ползучести.

Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное применение датчиков (деформометров) внутри конструкций (рис. 1а) и измерение деформаций внут-

реннего контура, начиная с момента их возведения.

С учетом технологии строительства можно контролировать качественное и количественное изменение напряженно-деформированного состояния обделки (рис. 1б) с момента сборки кольца под защитой оболочки ТПМК. Сопоставление величин напряжений в обделке с деформациями внутреннего контура для конкретного сечения позволяет с меньшими затратами оценить несущую способность на остальных участках тоннеля, ограничиваясь только контролем деформаций внутреннего контура. Для достоверного и достаточного определения несущей способности обделки по трассе тоннеля данным способом, датчиками оснащается обделка в пределах всех литологических разностей, пересекаемых тоннелем.

Оценка несущей способности крепи невозможна без изучения и знания физико-механических свойств массива грунтов и пород, вмещающих пройденные выработки. На стадии проектирования применяемые деформационно-прочностные свойства массива по данным изысканий, не всегда соответствуют фактическим.

Фактические деформационно-прочностные свойства массива за обделками определяются методом сейсмоакустического профилирования. Конечными результатами обработки материалов сеймопрофилирования являются скоростные разрезы и деформационно-прочностные характеристики грунтов заобделочного пространства, используемые затем для поверочных расчетов обделок.

Важным является контроль качества заполнения заобделочного пространства тампонажными растворами, поскольку для каждой технологической схемы подбирается своя рецептура таких растворов и их подача в заобделочное пространство. С учетом скорости строительства необходимо

подбирать сроки схватывания тампонажных растворов за обделкой, так как от этого напрямую зависит своевременный ввод обделки в совместную работу с массивом. Задачи по определению качества заполнения заобделочного пространства решаются в составе геотехнического мониторинга при помощи ультразвуковых томографов и георадаров с разработкой рекомендаций, на основании которых затем корректируются технологические параметры выполнения тампонажных работ, предусмотренные технологическим регламентом.

Допущенные деформации на контуре тоннеля перемещаются к дневной поверхности. Уже на этом этапе есть возможность дать количественную оценку будущим деформациям на поверхности. На этапе проектирования выполняется геотехнический прогноз с определением муьды осадок. Из результатов геотехнических расчетов можно сопоставить величины деформаций от контура тоннеля до дневной поверхности. Таким образом, если определить деформации вмещающего массива у контура тоннеля, можно судить о деформациях дневной поверхности.

Для определения деформаций массива применяются экстензометры (рис. 2). Использование глубинных экстензометров при строительстве тоннелей при помощи ТПМК позволяет решать задачи, связанные с оптимальным подбором технологических параметров ведения ТПМК – таких как давление пригрузки и нагнетания тампонажных растворов за обделку.

Необходимость сохранения зданий и сооружений на дневной поверхности ставит на первое место использование экстензометров по отношению к геодезическим измерениям. При ведении геодезических наблюдений за деформациями поверхности имеется возможность выявить процессы деформаций грунтового массива только в самый последний момент – когда смещения про-

изошли уже по всей толще грунта. А в случае, когда геодезический контроль осуществляется по реперам, установленным на зданиях, деформации проявляются после превышения определенных величин жесткости самого здания, что может привести к появлению крена. При этом эффективность противоаварийных мероприятий (например, компенсационное нагнетание в основание зданий) значительно снижается. Кроме того, периодичность ручных измерений, к сожалению, не позволяет оперативно отслеживать процессы, происходящие в контролируемом грунтовом массиве.

Для возможности оперативного принятия решений в случае приближения контролируемыми параметрами напряженно-деформированного состояния системы «тоннель - грунтовый массив» критериальных величин, измерения выполняются автоматизированными системами с контролем в режиме реального времени [4]. Это позволяет не только качественно выполнить в случае необходимости противоаварийные мероприятия, но и осуществить оперативную корректировку технологического режима проходки, направленную на снижение деформаций окружающего грунтового массива.

Один из таких результатов измерений показан на рис. 3, в соответствии с которым были определены временные рамки, связывающие деформации с технологическими параметрами ведения ТПМК и скорость их распространения от контура обделки к поверхности. При отсутствии инженерных коммуникаций на рассматриваемом участке тоннеля стало возможным выполнить превышение давления нагнетания за обделку относительно расчетных величин, при которых был зафиксирован подъем поверхности (рис. 4). Также было определено, что толща грунта над тоннелем, составляющая 12 м, практически не сжимается, поэтому превышение давления при выполнении заполнения заобделочного пространства сразу проявляется на земной поверхности.

Результаты таких исследований позволяют определить основные влияющие факторы на формирование смещений массива по всей толще и разработать рекомендации по корректировке параметров технологии строительства.

Важную роль для оценки влияния строительства на существующие здания и сооружения или отсутствие такого влияния оказывает визуальный и инструментальный мониторинг зданий.

Для оценки напряженно-деформированного состояния конструкций зданий используется стационарная система мониторинга строительных конструкций. Места установки измерительных датчиков (трещиномеров и наклономеров) принимаются после выполнения первого цикла визуального мониторинга всех зданий, попадающих в зону влияния строи-

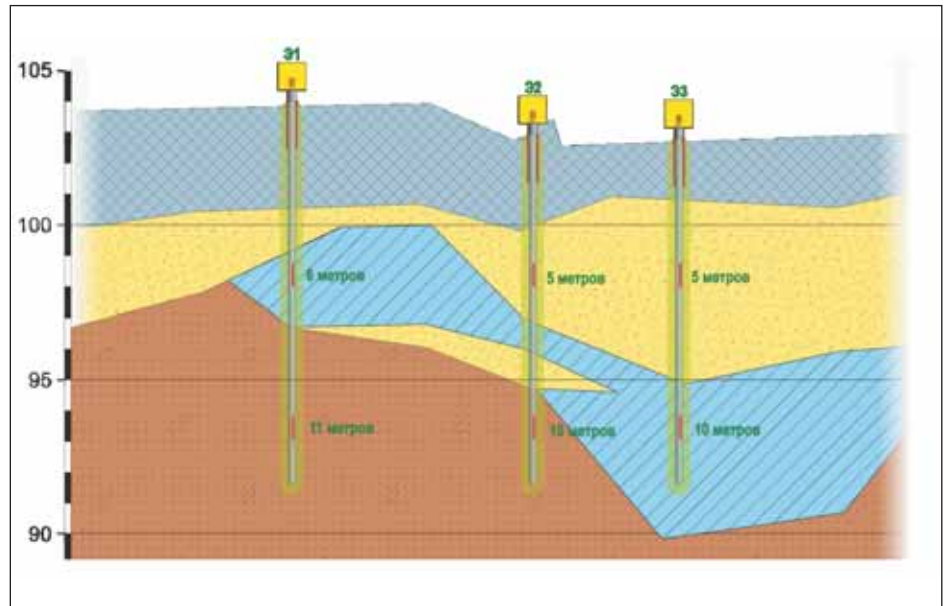


Рис. 2. Размещение скважин с экстензометрами над двухпутным перегонным тоннелем

тельства. Трещиномеры устанавливаются, как правило, на существующие трещины, имеющие распространение не только по отделочному слою, а и на несущие конструкции, что определяется при помощи тепловизора. Высокоточные измерители углов наклона (наклонометры) предназначены для измерения наклона и прогиба конструкций сооружения относительно вертикальной оси (отвесной линии) в двух направлениях и устанавливаются на крышах зданий. Измерения по датчикам выполняются в автоматизированном режиме с передачей данных на удаленный интернет-портал [5].

Наблюдения по установленной контрольно-измерительной аппаратуре, установленной на зданиях, попадающих в зону влияния строительства рассматриваемого двухпутного тоннеля, в течение почти двух лет показали, что величины раскрытия трещин, в целом, зависели лишь

от изменения температурного режима. Амплитуда раскрытия – закрытия трещин достигала 2 мм. При этом возврата к первоначальному состоянию не происходило. Накопленная за все время измерений величина раскрытия трещин без учета температурных факторов составила до 0,5 мм. При этом по фасадам зданий и по внутренним конструкциям раскрытия трещин, связанного с производством работ, не наблюдалось.

После окончания проходки двухпутного перегонного тоннеля на участке продления Фрунзенского радиуса ТПМК был демонтирован и смонтирован для проходки аналогичного тоннеля на северо-западном участке Невско-Василеостровской линии метро, где в настоящее время осуществляется проходка.

Для станционных комплексов мелкого заложения, строящихся на северо-западном участке Невско-Василеостровской ли-

Рис. 3. Формирование деформаций в толще массива по экстензометрам, расположенным в одной скважине

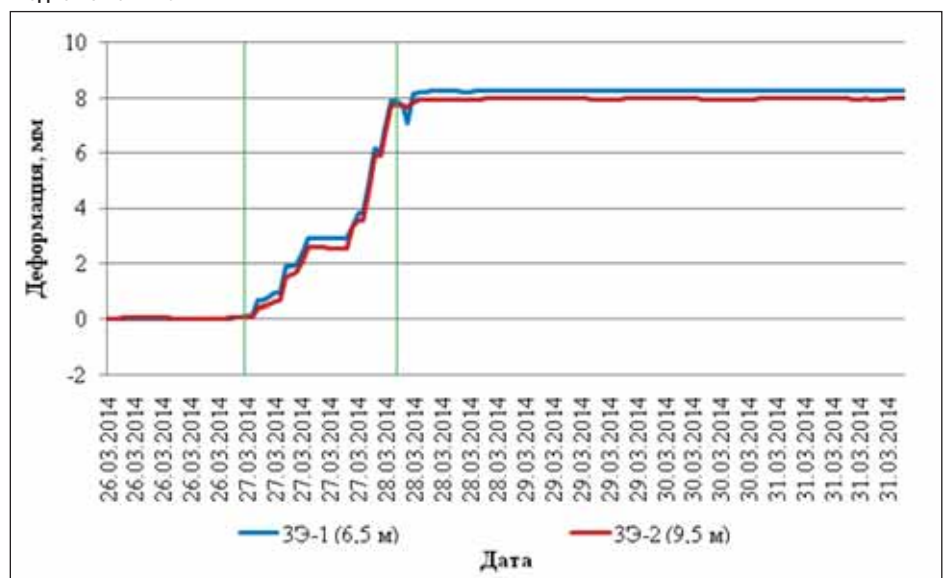




Рис. 4. Трещина на поверхности земли при выполнении нагнетания тампонажного раствора за обделку

нии метро и на юго-восточном продолжении линии «Фрунзенский радиус» в районе Дунайского проспекта, разработаны принципиально новые объемно-планировочные решения и конструктивная схема, позволяющая реализовать максимально сво-

бодные и комфортные пространства для пассажиров в уровне подземных вестибюлей и посадочных платформ.

Сложность пространственных форм вызывает необходимость использования определенной доли упрощения при выполнении расчетов строительных конструкций. Для уточнения расчетных схем и выполнения поверочных расчетов на помощь приходят результаты геотехнического мониторинга в части определения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций подземных сооружений.

Наилучшее представление о формировании напряженно-деформированного состояния крепей и обделок позволяет получить комплексное применение датчиков (деформометров) внутри конструкций и измерение деформаций внутреннего конту-

ра, начиная с момента их возведения. На рис. 5 показано оснащение датчиками поперечного сечения станционного узла мелкого заложения, строящегося по новой для Санкт-Петербургского метрополитена технологии – строительство в открытом

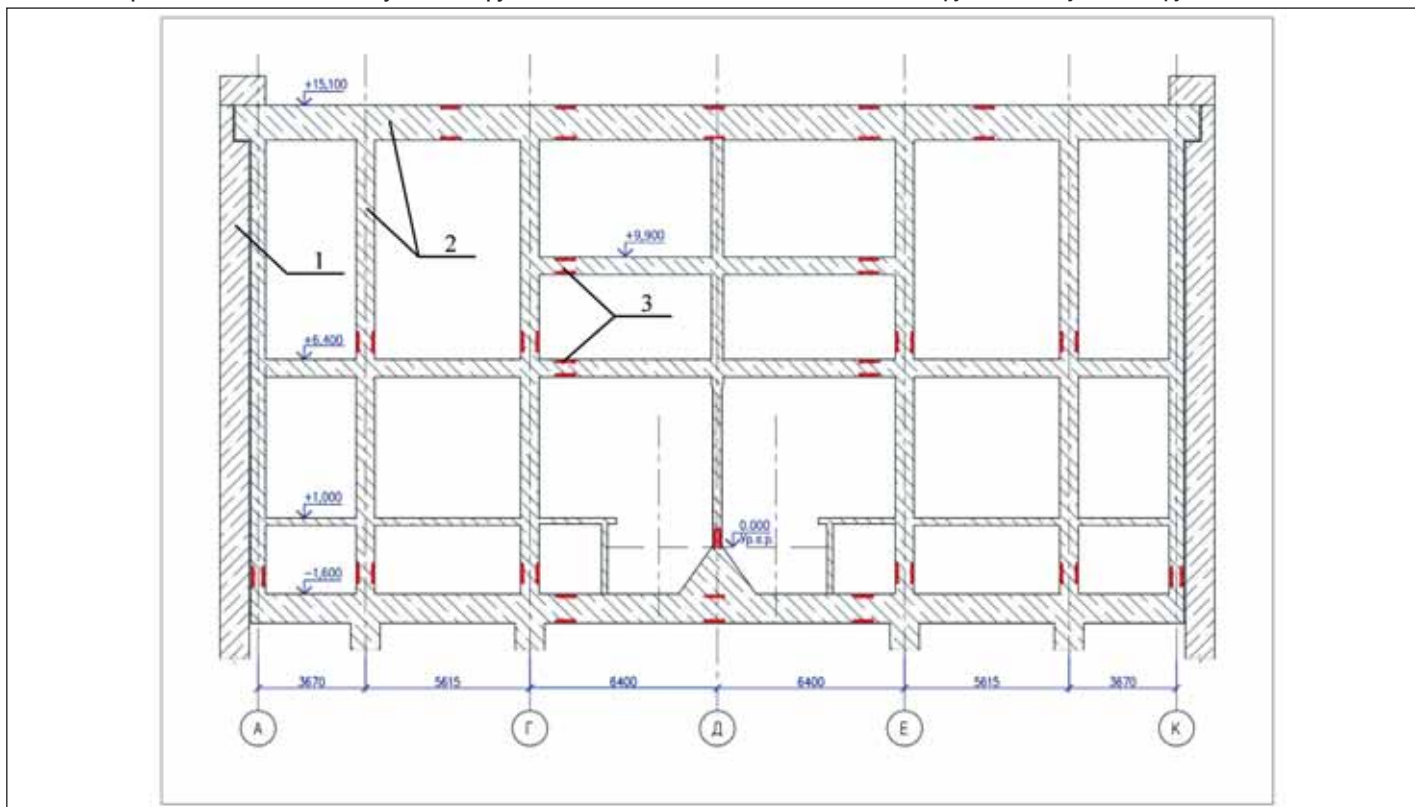
котловане с возведением постоянных несущих конструкций сверху – вниз. Сама технология не нова, по данной технологии уже давно возводятся заглубленные части зданий и сооружений, но с учетом размеров станционного узла (180 м в длину и 40 м в ширину) и проходке двухпутного перегонного тоннеля через тело станции в процессе ее строительства, данная технология на сегодняшний день является уникальной.

Станция колонного типа представляет собой многопролетную рамную монолитную конструкцию и характерна тем, что в одном строительном объеме, ограниченном «стеной в грунте», расположены и платформенная часть станции, и вестибюли станции, а также все технологические помещения, кроме подземных переходов, лестничных спусков и вентиляционных каналов.

Сооружение этого типа станции начинается с возведения ограждающих конструкций по периметру станционного узла. Ограждающие конструкции сооружаются методом «стена в грунте», через которые предполагается проходка перегонного тоннеля, выполняются с арматурой из композитных материалов для возможности вырезки указанного участка режущим органом ТПМК.

После завершения работ по сооружению ограждающих конструкций и свай-колонн, а также после прохода ТПМК через тело станции, производится разработка грунта с последовательным возведением несущих конструкций.

Рис. 5. Схема размещения датчиков в несущих конструкциях станции мелкого заложения: 1 – «стена в грунте»; 2 – несущие конструкции; 3 – датчики



На рис. 6 представлены графики формирования усилий одного из узлов конструкции покрытия, по которым можно проследить все технологические этапы последующей разработки грунта на нижних этажах станции и возведения строительных конструкций (рис. 7).

Кроме определения напряженно-деформированного состояния строительных конструкций в состав геотехнического мониторинга при строительстве станций мелкого заложения включены следующие задачи.

- Для подземных сооружений: контроль качества устройства «стены в грунте»; определение смещений «стены в грунте» инклинометрией; поверочные расчеты с учетом результатов натурных исследований.

- Для вмещающего массива: определение гидростатического давления; контроль глубинных деформаций при помощи скважинных инклинометров и экстензометров.

- Для существующей застройки и дневной поверхности: визуальный и инструментальный мониторинг зданий; контроль осадок дневной поверхности.

Каждая из задач геотехнического мониторинга является самостоятельной, но в то же время они дополняют друг друга, исключая вероятность возможных ошибок при интерпретации результатов исследований.

Результаты исследований напряженно-деформированного состояния системы «обделка-массив», выполняемых в рамках геотехнического мониторинга, ложатся в основу поверочных расчетов и корректировки технологии строительства. А также являются одним из важнейших факторов для снижения строительных рисков и рисков при эксплуатации. Полученный на сегодняшний день опыт строительства объектов метрополитена на малых глубинах показывает, что нарушение технологии приводит практически к мгновенным проявлениям на поверхности земли. Поэтому учет опыта строительства крайне необходим при проектировании и реализации проектов аналогичных объектов [6].

Значительную роль результаты мониторинга оказывают и для службы заказчика строительства, подтверждающие или опровергающие влияние строительства на существующую застройку, и, как следствие, исключают возможность спекуляций в суждениях о степени влияния на здания, сооружения и инженерные сети.

Список литературы

1. Безродный К. П., Салан А. И., Маслак В. А., Лебедев М. О., Старков А. Ю., Морозов А. В., Уханов А. В. Реализация безосадочных технологий при строительстве Петербургского метрополитена // Транспорт Российской Федерации. – М. – 2010. – № 3 (28). – С. 38–41.

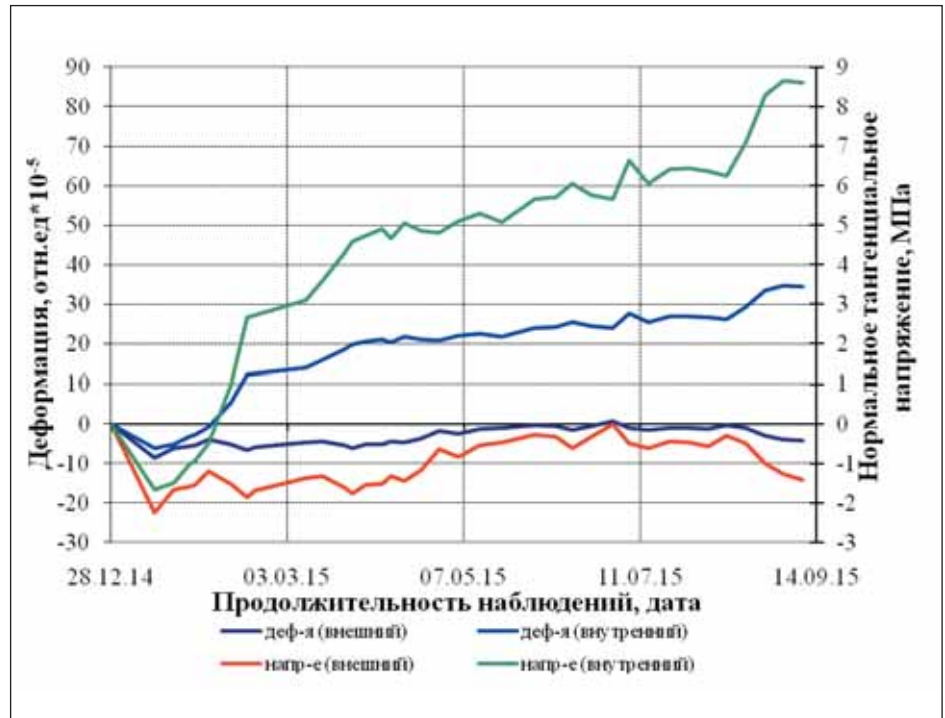


Рис. 6. Характерный график формирования усилий в конструкции покрытия в сжатой и растянутой зоне бетона



Рис. 7. Разработка грунта с оголением обделки двухпутного тоннеля и возведение постоянных несущих конструкций

2. Маслак В. А., Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Захаров Г. Р., Ледяев А. П., Старков А. Ю. Малоосадочные технологии при строительстве метро в историческом центре Санкт-Петербурга // Метро и тоннели. – М. – 2012. – № 6. – С. 28–32.
3. Безродный К. П., Лебедев М. О., Марков В. А., Старков А. Ю. Геотехническое обеспечение при строительстве двухпутного перегонного тоннеля с помощью ТПМК // Метро и тоннели. – М. – 2015. – № 5. – С. 16–18.
4. Бауков А. Ю., Лебедев М. О., Павлов С. В. Опыт применения комплексных автоматизированных систем геотехнического

мониторинга грунтового массива при проходке наклонных эскалаторных тоннелей метрополитена в условиях плотной городской застройки. Транспортное строительство, М., 2012, № 12. С. 6–9.
5. Безродный К. П., Лебедев М. О. О выполнении мониторинга при строительстве второго вестибюля станции метро «Спортивная» // Подземные горизонты. – М. – 2015. – № 4. – С. 48–53.
6. Маслак В. А., Безродный К. П., Лебедев М. О., Гендлер С. Г. Новые технико-технологические решения для строительства тоннелей метрополитена в условиях мегаполиса. // Горный журнал. – М. – 2014. – № 5. – С. 57–60.

Дорогие друзья, коллеги!



Примите самые искренние поздравления с 70-летием научно-исследовательского проектно-изыскательского института, коллектив которого обладает уникальным опытом проектирования метрополитенов и других подземных сооружений.

Сегодня профессионализм и талант проектировщиков института востребован не только в Петербурге, с вашим участием создавались тоннели Байкало-Амурской магистрали, строились объекты сочинской олимпиады, проектировались метрополитены в Самаре, Челябинске, Красноярске, Казани, на Кубе и в Алжире.

Но я уверен в том, что Ленинградский-Петербургский метрополитен навсегда останется для вас первой любовью и основной вехой в богатой истории вашего института.

ОАО «Ленметрогипротранс» – правопреемник и достойный наследник созданного в тяжёлые послевоенные годы легендарного Ленметропроекта, воплотившего в реальность мечту многих поколений жителей нашего города – Ленинградский метрополитен. Первый пусковой участок подземки на долгие годы определил стиль и философию развития нашего метрополитена, а архитектурно-художественный ансамбль первых станций стал культурным достоянием северной столицы.

Петербургский метрополитен XXI века – это мощный транспортный конвейер, который создан только благодаря высокому техническому уровню проектных решений, использованию новейших научных разработок и высокой квалификации сотрудников Ленметрогипротранса.

Пусть множатся километры проектируемых вами подземных трасс, пусть появляются на схеме Петербургского метрополитена новые станции и перегоны!

Счастья вам и здоровья!

*Начальник ГУП «Петербургский метрополитен»
В. А. Гарюгин*



ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ – ОСНОВА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ



С. Г. Гендлер,
д. т. н., профессор,
заведующий лабораторией
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Е. И. Домпальм,
к. т. н., доцент, старший
научный сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Р. В. Введенский,
младший научный со-
трудник ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



А. Ю. Котомина,
младший научный
сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



М. В. Могильный,
младший научный
сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Л. В. Рыжова,
младший научный
сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

В последние годы в России возросли темпы строительства транспортных тоннелей и тоннелей метрополитенов. География их сооружения охватывает практически всю территорию нашей страны, включая как районы-мегаполисы с плотной городской застройкой, имеющие культурно-историческое значение, так и районы с уникальными природно-климатическими условиями.

Строительство тоннелей всех типов и их последующая эксплуатация сопряжены с негативным воздействием техногенных процессов на окружающую природную среду.

Особенностью этого воздействия по сравнению со строительством объектов на поверхности является:

- одновременное ведение работ под землей и на поверхности, что затрагивает все элементы биосферы: атмосферный воздух, почву, поверхностные и подземные воды, флору и фауну, население;
- применение для сооружения тоннелей и поверхностных комплексов различных технологий: ручную разработку грунта, тоннельные проходческие комплексы (ТПК), проходческие комбайны, буровзрывные работы, экскаваторную выемку грунта, бурсвайные работы и бетонные работы;
- использование большого спектра строительных машин и механизмов;
- значительная длительность работ, достигающая пятилетнего периода с временным изменением уровней негативного воздействия.

Экологическое сопровождение проектирования, строительства и эксплуатации тон-

нелей является неотъемлемой частью и основой для сохранения окружающей среды. При осуществлении работ по экологическому сопровождению следует выделить этапы, представленные на рис. 1.

В зависимости от типа тоннелей периоды строительства и эксплуатации характеризуются сочетанием различных негативных факторов, влияющих на состояние окружающей среды (рис. 2).

Лаборатория геоэкологии и аэрологии, входящая в состав научно-исследовательского отдела ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», осуществляет все виды экологического сопровождения работ в периоды проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей.

В период с 2009 по 2014 г. сотрудниками лаборатории выполнялись непрерывные наблюдения за состоянием окружающей среды при строительстве и последующей эксплуатации транспортных тоннелей на совмещенной (автомобильной и железной) дороге «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», трасса которой проходит по территории заповедника «Западный Кавказ». На основании этих наблюдений и их последующей оценки были внесены изменения в технологические схемы ведения горнопроходческих работ, что позволило снизить до нормативных значений негативное воздействие на окружающую среду.

За последние пять лет сотрудниками лаборатории разработаны проекты оценки воз-

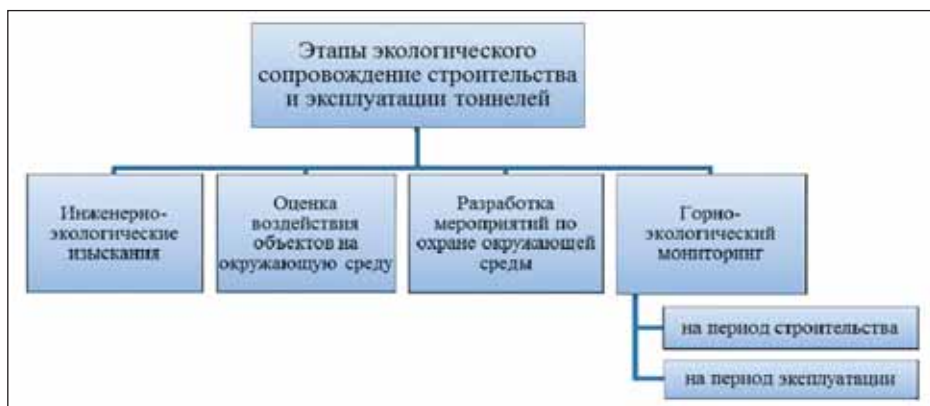


Рис. 1. Экологическое сопровождение при строительстве и эксплуатации тоннелей

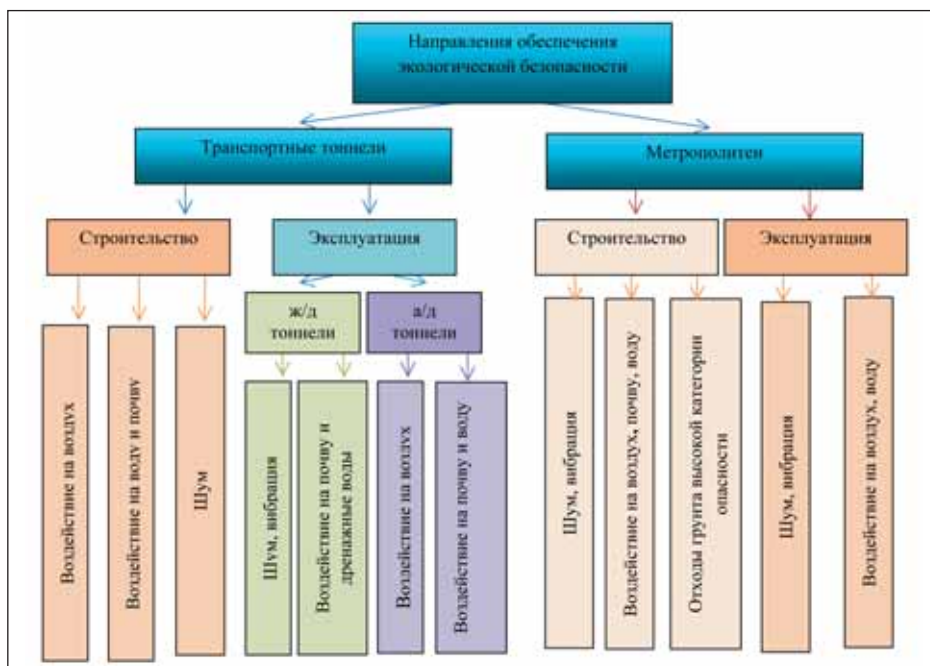


Рис. 2. Факторы, оказывающие влияние на окружающую среду в периоды строительства и эксплуатации тоннелей

действия на окружающую среду при строительстве и эксплуатации пяти линий метрополитена Санкт-Петербурга, а также Калининско-Солнцевской линии мелкого заложения Московского метрополитена с обоснованием необходимых природоохранных мероприятий. Особый акцент при этом сделан на вопросы по обращению с грунтом,

образующимся в процессе ведения горно-строительных работ, а также оценку и нормализацию шумового воздействия на жилые районы, находящиеся вблизи строительных площадок.

Опыт контроля параметров окружающей среды при строительстве транспортных тоннелей и метрополитена в Санкт-Пете-

Рис. 3. Содержание оксида углерода в тоннельном и атмосферном воздухе на участке от забоя до границы строительной площадки: 1 – в забое железнодорожного тоннеля; 2 – на выходе из портала; 3 – в 50 м от портала; 4 – максимально-разовая ПДК оксида углерода

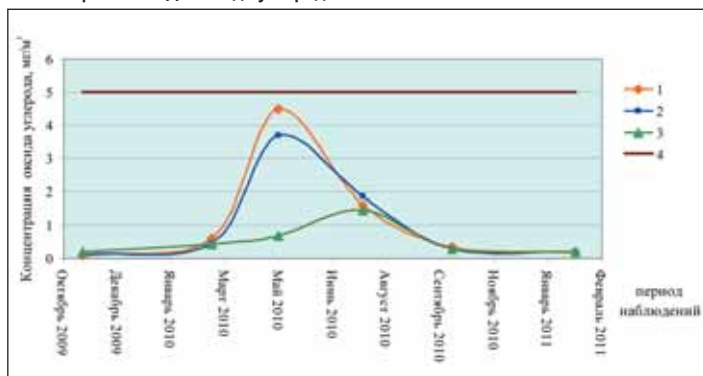
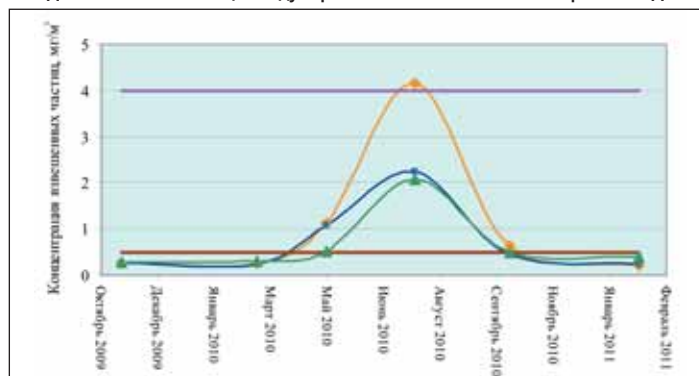


Рис. 4. Содержание взвешенных частиц в тоннельном и атмосферном воздухе на участке от забоя до границы строительной площадки: 1 – в забое железнодорожного тоннеля; 2 – на выходе из портала; 3 – в 50 м от портала; 4, 5 – соответственно ПДК взвешенных частиц в воздухе рабочей зоны и максимально-разовая ПДК



бурге, базирующийся на инструментальных замерах загрязнения атмосферного воздуха, шумового и вибрационного воздействия, определения класса опасности и степени химического загрязнения разрабатываемых грунтов, позволил разработать методические основы проведения экологического мониторинга, учитывающие комплекс климатических, горно-геологических, физико-химических и горно-технических факторов.

Экологическое сопровождение строительства и эксплуатации транспортных тоннелей

Строительство транспортных тоннелей на совмещенной (автомобильной и железной) дороге «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» началось в 2009 г.

Анализ результатов мониторинга, проводимого в период строительства, показал, что при сооружении транспортных тоннелей экологическая нагрузка на окружающую среду, в частности на атмосферный воздух, носит неравномерный характер. Минимальная в начальный период строительства, затем по мере увеличения протяженности выработок и повышения интенсивности проходческих работ она увеличивается. После завершения основного этапа строительства, во время обустройства тоннелей экологическая нагрузка на ОС вновь снижается (рис. 3 и 4).

Описанная динамика экологической нагрузки на атмосферный воздух может быть объяснена повышением концентрации погрузочно-доставочного оборудования по мере увеличения протяженности проходимого участка выработки и, следовательно, возрастанию выбросов загрязняющих веществ в тоннельный воздух, а также недостаточной эффективностью работ по пылеподавлению. В этой связи во время строительства, в качестве природоохранного мероприятия было предложено увеличить количество воздуха, подаваемого в забой, а также установить в выработках пылеулавливающие установки.

В период проведения XXII Олимпийских зимних игр и XI Паралимпийских зимних игр сотрудниками лаборатории выполнялись наблюдения за состоянием окружающей среды при эксплуатации транспортных

тоннелей на совмещенной (автомобильной и железной) дороге «Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис».

Автодорожные тоннели № 1, 2 и 3 входят в состав тоннельных комплексов № 1, 3 и 5 (рис. 6).

Тоннели имеют две полосы движения и их протяженность составляет:

- автодорожные тоннель № 1 – 2296,0 м;
- автодорожные тоннель № 2 – 3199,2 м;
- автодорожные тоннель № 3 – 1372,2 м.

В период эксплуатации автодорожных тоннелей основным источником негативного воздействия на атмосферу являются выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта. Конечная концентрация загрязняющих веществ в исходящей из тоннелей воздушной струе зависит от интенсивности движения автотранспорта, которая меняется в течение суток: максимальная в час пик и минимальная в ночное время, а также от количества воздуха, движущегося по тоннелям.



Рис. 5. Тоннельный комплекс № 1 совмещенной дороги Адлер – «Альпика-Сервис»

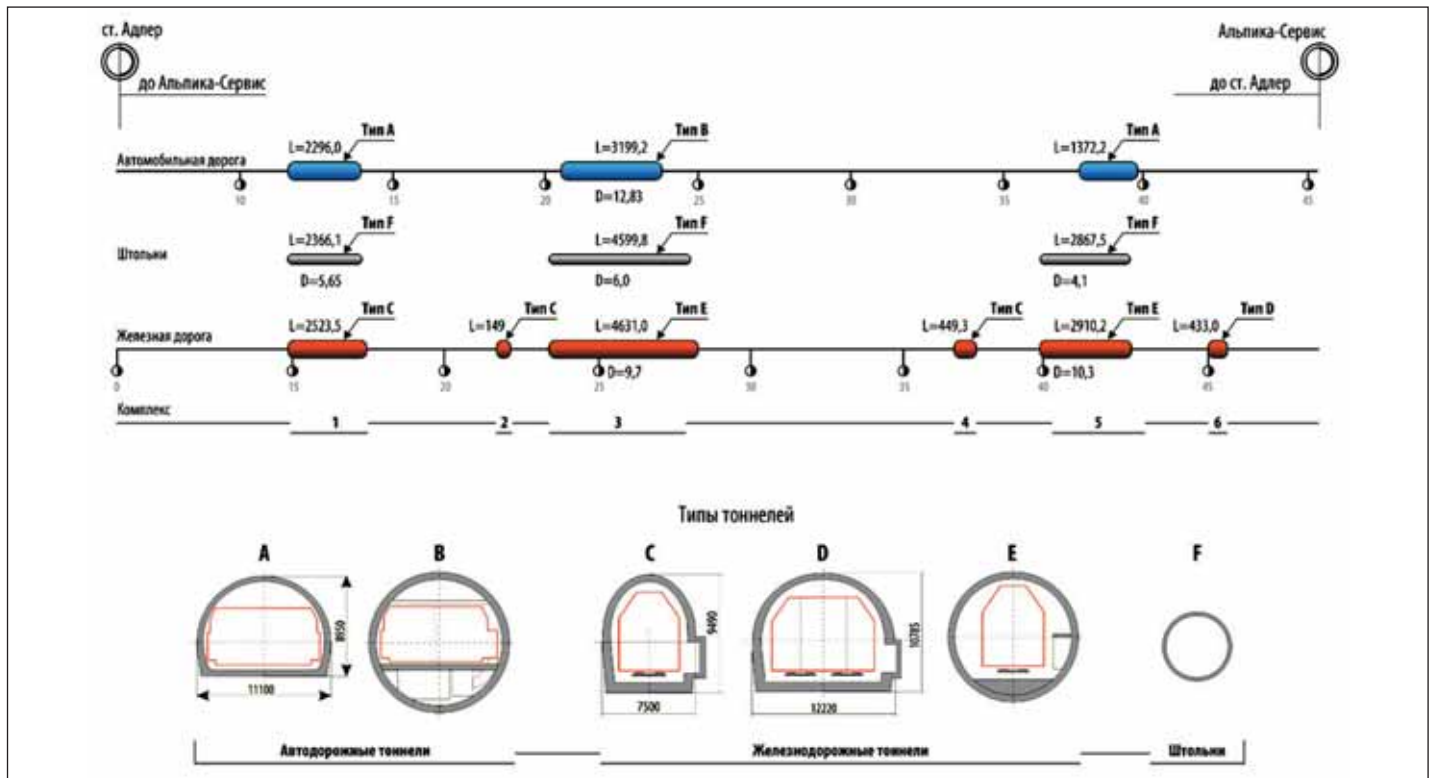


Рис. 6. Схема тоннелей на трассе Адлер – «Альпика-Сервис»

Рис. 7. Содержание CO на южном портале автодорожного тоннеля № 1 в период эксплуатации

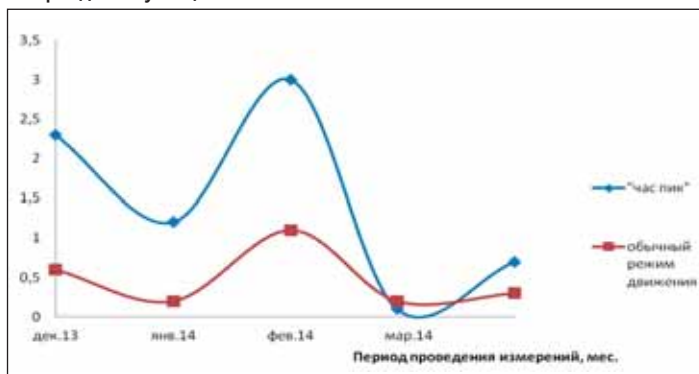


Рис. 8. Содержание CO на северном портале автодорожного тоннеля № 1 в период эксплуатации

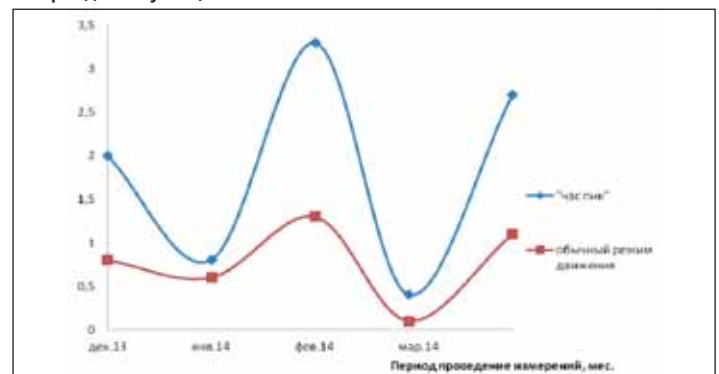




Рис. 9. Внешний вид сейсмостанции с ноутбуком, подключенный через переходной интерфейс



Рис. 10. Внешний вид датчиков, установленных на подшове рельса и опоре

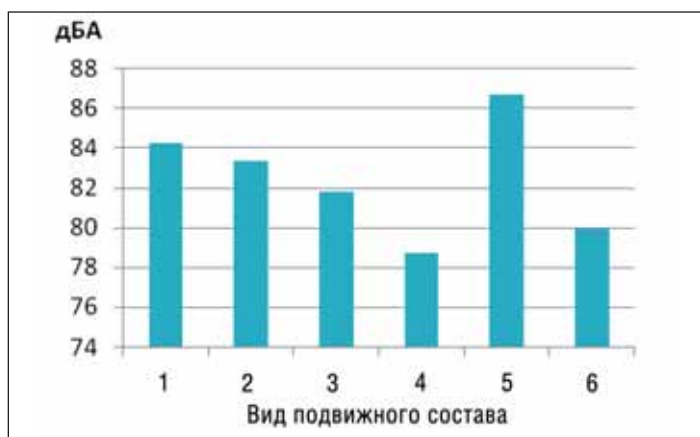
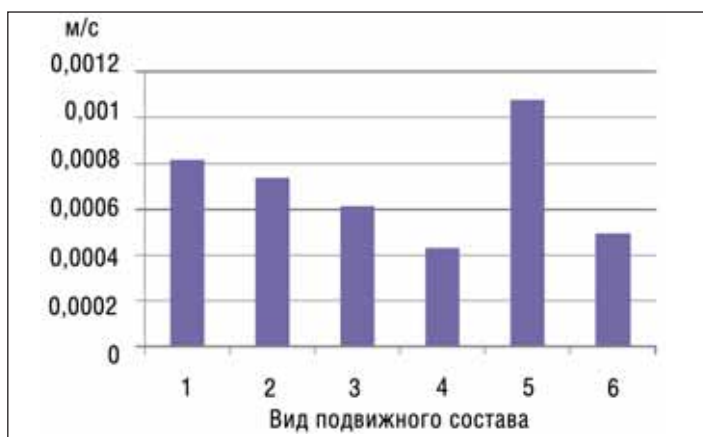


Рис. 11. Спектр временного сигнала виброскорости, просуммированный по октавным полосам частот, для различных типов подвижного состава. Цифрами характеризуют: 1, 5 – товарный состав; 2, 3 – пассажирский состав; 4, 6 – пассажирский состав «Ласточка»

Для замеров были выбраны разные периоды времени, с различной плотностью потока. Так, для часа пик был выбран период 10:00 – 12:00 ч. Для обычного режима движения был выбран период 22:00 – 00:00 ч.

С увеличением интенсивности транспортного потока, совпадающей со временем проведения основных соревнований на Олимпийских играх, произошло некоторое ухудшение экологической обстановки. Концентрации загрязняющих веществ для обычного

режима движения транспорта значительно меньше, чем для периода час пик (рис. 7 и 8). Однако при этом концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе на порталах тоннелей и на припортальных площадках не превышают нормативных значений, установленных ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест», как в период час пик, так и для обычного режима движения.

Рис. 12. Строительство двухпутного тоннеля мелкого заложения от «Южной» до ст. «Проспект Славы»



Для железнодорожных тоннелей на электрической тяге одним из основных физических факторов негативного воздействия на население, проживающее в расположенной вблизи тоннелей селитебной зоне, является транспортная вибрация. Влияние вибрации, инициируемой подвижным составом, на земную поверхность, расположенную над тоннелем, может быть рассчитано по известной методике по ее измеренным значениям на обделке тоннеля. В связи с тем, что на участке Туапсе – Адлер Северо-Кавказской железной дороги запланировано сооружение тоннеля протяженностью 5,8 км, для получения исходных данных по расчету вибрации на поверхности на действующих тоннелях № 4 и 5 выполнены инструментальные определения ее уровней на их обделке. Проведение измерений осуществлялось с помощью сейсмостанции (рис. 9 и 10), адаптированной для регистрации значений виброускорения. В качестве датчиков при этом использовались датчики PCB PIEZOTRONICS (модель 354C03).

Результаты замеров показали, что величины уровня вибрации при прочих равных условиях (сечение тоннеля, конструкция обделки и верхнего строения пути, физико-механические свойства породного массива) зависят от типа подвижного состава (рис. 11).



Рис. 13. Схема суммарного загрязнения тяжелыми металлами почвогрунтов участка для строительства ст. «Дунайский проспект»



Рис. 14. Отбор проб при проведении мониторинга

Экологическое сопровождение проектирования, строительства и эксплуатации метрополитена в Санкт-Петербурге

В качестве примера для характеристики особенностей экологического сопровождения проектирования и строительства метрополитена выбран участок пятой линии Петербургского метрополитена, продолжающий Фрунзенский радиус за станцию «Международная» до станции «Южная». Участок находится в черте города и расположен во Фрунзенском административном районе Санкт-Петербурга. Трасса проложена вдоль Бухарестской ул., далее за Кольцевой автомобильной дорогой – в Пушкинском районе города. Протяженность участка составляет 5,23 км.

Особенностью данной линии, впервые в условиях Санкт-Петербурга, является комбинация метрополитенов двух типов: глубокого и мелкого заложения (рис. 12).

Перегонные тоннели мелкого заложения сооружаются от ст. «Южная» до ст. «Дунайский проспект», и на большей части перегонного тоннеля от ст. «Дунайский проспект» до ст. «Проспект Славы». Проектом предусмотрено сооружение трех станций: наземной станции «Южная», станции мелкого заложения «Дунайский проспект» и станции глубокого заложения «Проспект Славы» с двумя эскалаторными тоннелями.

Разные технологии строительства, в свою очередь, определяют уровни воздействия на разные компоненты окружающей среды.

Открытый способ работ (в котловане) приводит к выемке больших объемов техногенных грунтов, а также концентрации строительной техники на площадке. В этой связи, для получения достоверной оценки негативного воздействия строительства необходимо детальное обследование породного массива, планируемого к выемке, с точки зрения физико-химических показателей грунта, а также показателей основных физических факторов (шум, химический состав атмосферного воздуха, вибрация).

При проходке тоннелей комплексом ТПМК на участках мелкого заложения, где трасса тоннеля проходит в техногенных

грунтах, основное внимание уделяется качеству грунта. При этом детальное наблюдения за физическими факторами по трассе тоннеля не требуется.

Анализ результатов инженерно-экологических изысканий, проведенных Российским геоэкологическим центром – филиалом ФГУП «Урангеологоразведка», позволил установить степень проявления химических факторов риска, а именно:

- техногенные грунты с поверхности всех обследованных строительных площадок и на глубину до 5 м на некоторых из них соответствуют опасной и чрезвычайно-опасной категории химического загрязнения (по содержанию тяжёлых металлов и органических токсикантов) (рис. 13).

Высокие уровни химического загрязнения грунтов объясняются действием антропогенных факторов. Например, одним из факторов химического риска участка под строительство станции «Дунайский проспект» является то, что его западная граница проходит по территории рекультивированной свалки «Купчинская».

По результатам инженерно-экологических изысканий установлены объёмы грунта

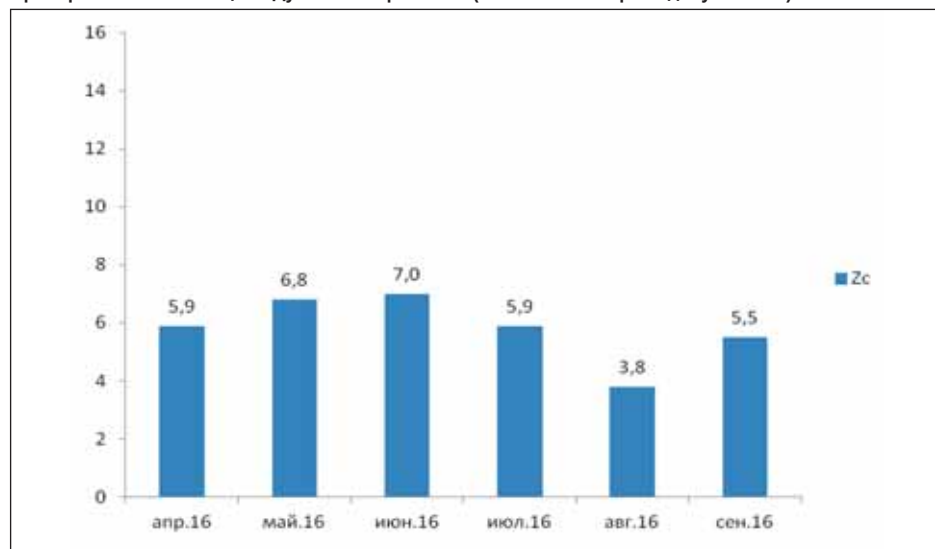
разной категории опасности в соответствии с санитарно-эпидемиологической классификацией. Это позволило в дальнейшем обоснованно выбрать места (полигоны) для их размещения.

При строительстве станции «Дунайский проспект» объем грунтов «чрезвычайно-опасной» категории составил порядка 7300 м³, «опасной» категории – 10 тыс. м³. При проходке тоннелей мелкого заложения от ст. «Южная» до ст. «Дунайский проспект» образовались грунты только «допустимой» категории, объём которых составил 270 тыс. м³.

В процессе проведения мониторинга оказалось, что класс опасности и степень химического загрязнения грунта, образующегося при проведении земляных работ, как при строительстве станции, так и при проходке тоннеля мелкого заложения, соответствуют характеристикам, определенным в процессе инженерно-экологических изысканий.

Исследование физических факторов в период проведения изысканий показало, что по уровню шума территория ближайшей жилой и общественной застройки, прилегающая к площадке строительства, не соответствует санитарным нормативам СН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Рис. 15. Результаты мониторинга суммарного загрязнения тяжелыми металлами почвогрунтов при строительстве станции «Дунайский проспект» ($Z_c < 16$ – категория «допустимая»)



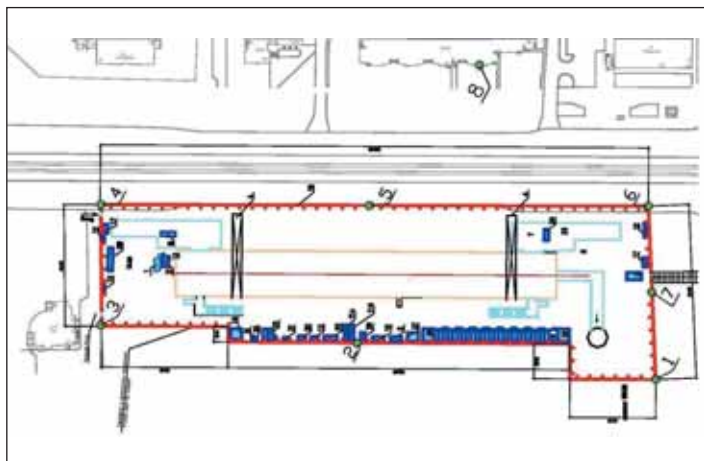


Рис. 16. Расположение точек измерений на границах строительной площадки ст. «Дунайский проспект»

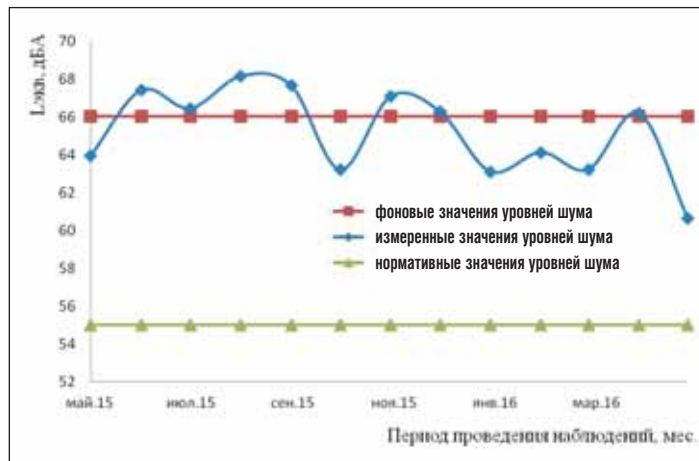


Рис. 17. Уровни эквивалентного шума на границе жилой застройки у строительной площадки станции «Дунайский проспект»

Фактические значения уровней вибрации на фундаменте здания, расположенного в 40-метровой зоне от стены тоннеля

Допустимые значения СН 2.2.4/2.1.8566-96 (таб. 9, 10)	Эквивалентный корректированный уровень виброускорения, дБ		
	Ось X	Ось Y	Ось Z
80	83	77	77

Таблица



Рис. 18. Внешний вид валунов, извлеченных при проходке двухпутного тоннеля

Рассчитанные уровни шума на границе ближайшей жилой застройки превышают предельно допустимые уровни на 17 дБА.

При мониторинге измерения уровней шума проводились в заранее выбранных точках по периметру строительной площадки, а так же на границе ближайшей жилой застройки (рис. 16).

Превышения уровней шума в местах плотной городской застройки, выявленные в результате мониторинга, в большей степени связаны с влиянием транспортных потоков в непосредственной близости от строительной площадки и соответствуют ранее рассчитанным (рис. 17).

Вибрация на период строительства при проведении оценки воздействия не рассчитывалась, так как проходка перегонных тоннелей осуществлялась на глубине 0–20 м, где по данным геологических изысканий находятся неустойчивые грунты с невысокими коэффициентами крепости. Однако в процессе мониторинга были зафиксированы

повышенные уровни вибрационного воздействия на фундаментах зданий, располагающихся по трассе тоннелей (табл.).

Это может быть объяснено более сложным геологическим строением участка строительства, включающим в себя валуны, которые имеют более высокий по сравнению с основным грунтовым массивом коэффициент крепости (рис. 18). Исполнительный орган тоннелепроходческого щита, наталкиваясь на эти валуны, инициировал повышенный уровень вибрации.

Уровень вибрации на обделке перегонных тоннелей, который в дальнейшем использовался для расчета вибрации на поверхности, измерялся в действующих тоннелях для условий различных типов верхнего строения пути, применяемых на действующем метрополитене. Для измерений использовались методика и аппаратура, апробированные на железнодорожных тоннелях.

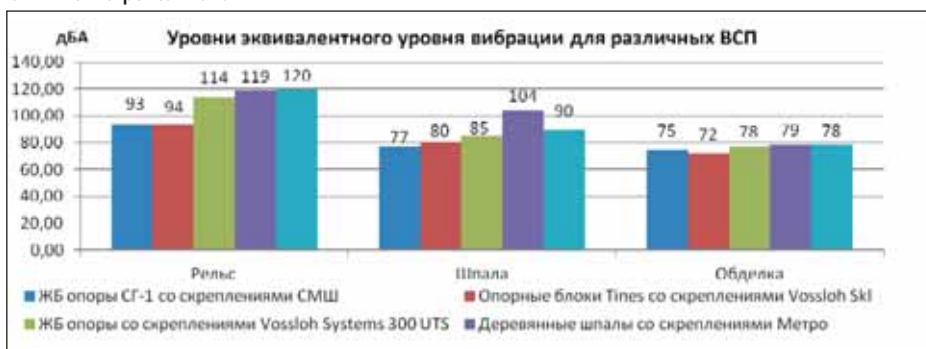
Результаты измерений, представленные в виде значений уровней эквивалентного уровня вибрации для различных конструкций ВСП, представлены на рис. 19.

Анализ экспериментальных данных позволяет выбрать конструкции ВСП, характеризующиеся минимальными значениями вибрации.

Таким образом, уровни и конечный результат физических и химических воздействий зависят от многих факторов: климатических и горно-геологических условий района строительства; технологии строительства; глубины заложения тоннелей; горнопроходческого оборудования, а также машин и механизмов, используемых на поверхности для выемки, погрузки и транспортировки грунта, расположения строительных площадок относительно селитебных территорий; фоновых уровней загрязнения района строительства.

Учет совокупности выше перечисленных факторов на всех этапах экологического сопровождения строительства и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов дает возможность не только грамотно спрогнозировать, но и минимизировать уровни негативного воздействия на окружающую среду.

Рис. 19. Результаты измерений, полученные для различных типов верхнего строения пути, применяемых на метрополитене





Станция «Старая деревня»



Станция «Новочеркасская»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГИСТРАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ЕЭМИ) ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ТОННЕЛЕСТРОЕНИИ



А. Д. Басов,
к. г.-м. н., заведующий
лабораторией
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



К. В. Романевич,
к. т. н., старший
научный сотрудник
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

Одним из перспективных направлений исследований в научно-исследовательском отделе (НИО) института «Ленметрогипротранс» является комплексное развитие, опытно-методическое освоение и внедрение метода регистрации естественного электромагнитного излучения в условиях строительства подземных сооружений и на поверхности в зоне влияния горных работ для решения широкого круга геотехнических задач, таких как, например, оценка геодинамической активности и напряженно-деформированного состояния горного массива.

Метод регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) является наиболее оперативным методом оценки изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Сущность метода заключается в регистрации сейсмoeлектрических и сейсмагнитных явлений, к которым относятся [1]:

- сейсмoeлектрический эффект 1-го рода;
- сейсмoeлектрический эффект 2-го рода;
- суммарный сейсмoeлектрический эффект;
- сейсмагнитный эффект;
- механoeлектрический (электрострикционный) эффект;
- пьезoeлектрический эффект и некоторые другие.

Впервые сейсмoeлектрические явления в горных породах были обнаружены и описаны в конце 1930-х гг. советским геофизиком Ивановым и американским геофизиком Томсоном. Появление электрических зарядов

при пластической деформации кристаллов каменной соли, в которой отсутствует пьезоэффект, наблюдал А. В. Степанов в 1933 г., после чего исследования в этом направлении не прекращались.

Метод ЕЭМИ (под аббревиатурой ЕИЭМПЗ – метод регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли) включен в СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV.

Правила производства геофизических исследований» в качестве метода для определения местоположения зон трещиноватости и тектонических нарушений, оценки их современной активности, изучения процесса изменения напряженного состояния массива. Несмотря на это, в условиях реального производства его применение в большинстве случаев до сих пор находится на стадии экспериментов [2, 3].

Таким образом, феномен естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ или ЕЭМИ) известен и изучается для возможности применения при решении геологических и инженерных задач уже более 50 лет [4, 5]. К настоящему моменту разработан ряд аппаратно-программных комплексов регистрации естественного электромагнитного поля, а сам метод является одним из наиболее оперативных геофизических методов. Кроме этого, непрерывно совершенствуется математически-программный аппарат метода, его теоретическая и практическая (аппаратурная и элементная) база.

Исторически на угольных шахтах для уточнения прогнозного контура геодинамически опасных зон во внутреннем пространстве лав и блоков, подготовленных к отработке, проводились исследования методами сейсморазведки и выхода буровой мелочи при бурении шпуров, а начиная с 1980-х гг. велась оценка потенциальной опасности динамических явлений по электромагнитному излучению [6].

Впервые в транспортном тоннелестроении исследования методом регистрации ес-

тественного электромагнитного излучения проводились специалистами Ленметрогипротранса [7] при строительстве тоннелей Байкало-Амурской магистрали (БАМ). Методом ЕИЭМПЗ (в варианте регистрации интенсивности счета импульсов электромагнитного излучения) контролировались динамические проявления горного давления при проходке. Этот же метод был впервые применен для определения горно-геологических условий впереди забоев на строящемся Северомуйском тоннеле (рис. 1).

Применяемая в те годы аппаратура регистрации электромагнитного излучения горных пород фиксировала только количество импульсов в единицу времени, но не их амплитуды, что не позволяло даже качественно оценить энергию протекающего процесса и, следовательно, адекватно не отражало реальную ситуацию изменений напряженно-деформированного состояния (НДС) на участке наблюдений. Поэтому однозначной интерпретации результатов наблюдений не получалось, особенно на новых участках с неизвестной динамикой изменения НДС.

В 1990-х гг. появилось новое поколение аппаратуры ЕЭМИ – прибор для регистрации электромагнитного излучения «Ангел», произведенный Всесоюзным научно-исследовательским институтом горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ). Базовое назначение аппаратуры – анализ переменного электромагнитного поля на контролируемом участке выработки и определение обобщенных показателей импульсного естественного излучения горных пород в зоне опорного давления. «Ангел» обеспечивал автоматизированную селекцию и накопление информации об излучении, оценку амплитуды и количества импульсов по выборке сигналов и сравнение их с критическими значениями. Таким образом, прибор «Ангел» являлся аппаратурой с предустановленными алгоритмами, как собственно измерений, так и первичной внутренней обработки информации. Основным недостаток аппаратно-программного комплекса «Ангел» – это «защитая», то есть заранее алгоритмизированная настройка регистрации под некие обобщенные горно-геологические условия, в реальности, сильно различающиеся от объекта к объекту. Аналогичную аппаратуру также производили в Новосибирске, Томске.

Для того чтобы успешно приспосабливать метод ЕЭМИ к различным условиям применения, в ОАО «Ленметрогипротранс» разрабо-

тан аппаратный комплекс «ЭМИ-ЗК», который имеет «открытый» канал записи параметров электромагнитного излучения с целью последующей оптимизации алгоритма приема и обработки информации для решения той или иной целевой практической задачи.

Комплекс «ЭМИ-ЗК» обеспечивает непрерывную регистрацию электромагнитного поля одновременно на три взаимно ортогональные магнитные антенны за фиксированный интервал времени для последующей оценки количества импульсов и их распределения по частоте следования, амплитуде, длительности и форме сигналов. Это дает возможность определять направление на область максимальных деформаций массива и строить четырехмерные диаграммы распределения электромагнитного излучения в пространстве и во времени без привязки к определенному алгоритму измерений и обработки. А также создавать уникальный алгоритм, использующий наиболее информативные из регистрируемых параметров на каждом из исследуемых объектов. Кроме этого, благодаря регистрации ЕЭМИ на открытый канал и специальному программному обеспечению стало возможным выделять полезную информацию, обрабатывая данные, полученные в условиях достаточно сильных промышленных помех.

Специалистами научно-исследовательского отдела института «Ленметрогипротранс» последовательно проводятся опытно-методические работы по регистрации поля естественного импульсного электромагнитного излучения горных пород с использованием разных типов электромагнитной аппаратуры и антенн на подземных объектах. Среди них – действующие и строящиеся автомобильные и железнодорожные тоннели линий Сочи – Красная Поляна и Туапсе – Адлер, железнодорожные тоннели БАМа и Транссиба, Ялтинский гидротехнический тоннель и некоторые другие. Регистрация ЕЭМИ с целью апробации методик измерений и оценки уровня напряженного состояния массива горных пород проводилась также на объектах Московского и Петербургского метрополитенов. В Москве – на Калининско-Солнцевской ли-

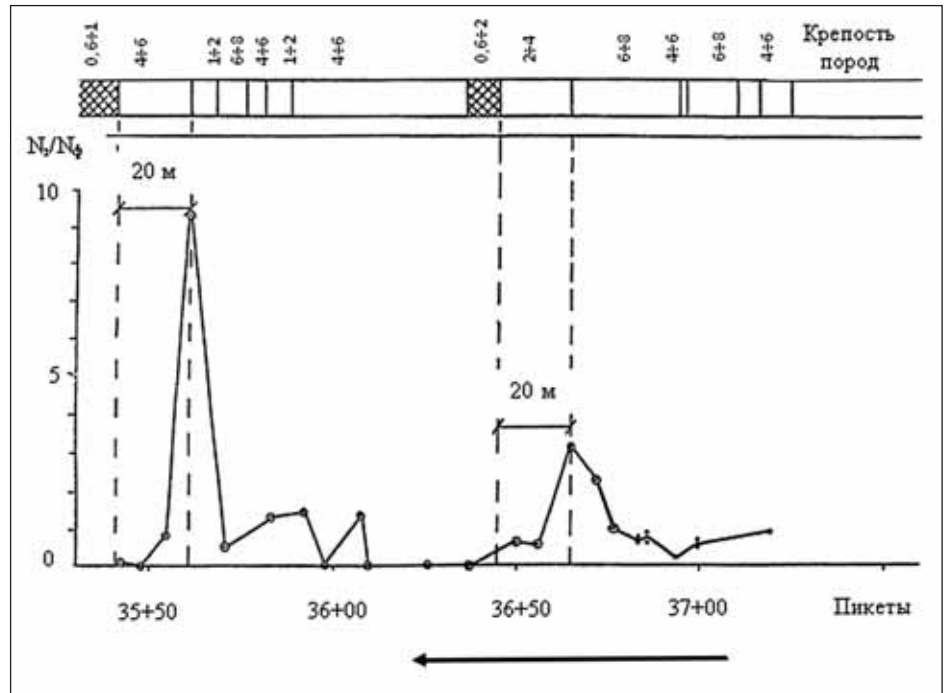


Рис. 1. Опережающее выявление зон повышенного горного давления методом регистрации ЕИЭМПЗ в забое ТРДШ Северомуйского тоннеля. Проходка участка с ПК 37+50 до ПК 35+49,1 велась ГПК «Роббинс» в период с 31.10.1986 г. по 24.12.1986 г. Стрелкой показано направление проходки

нии, в Санкт-Петербурге – в районе «Размыва» (перегон «Лесная» – «Площадь Мужества»), при строительстве таволаторного тоннеля станции «Спортивная» под рекой Малая Нева, а также на забоях, в перегонных тоннелях и демонтажных камерах строящейся Невско-Василеостровской линии и второй очереди Фрунзенского радиуса Санкт-Петербургского метро.

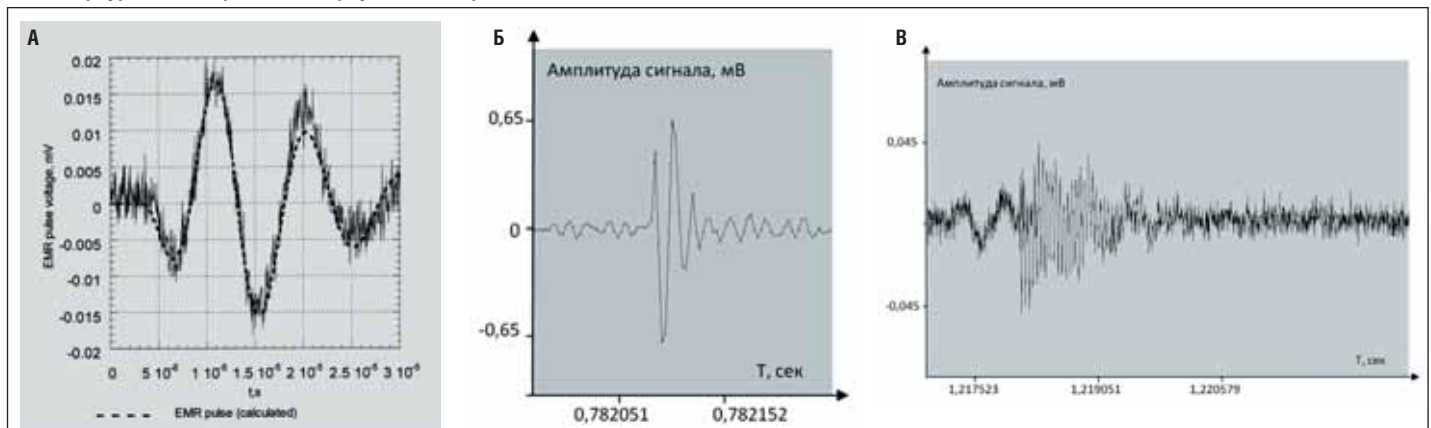
При регистрации ЕЭМИ в условиях проходки выработок горным способом (т. е. без применения механизированных проходческих щитов, а, следовательно, с минимальным уровнем промышленных помех) было зафиксировано несколько типов импульсного излучения, которые, вероятно, связаны с разными видами и стадиями деформирования структурно-неоднородного массива горных пород. Типы излучения различаются по количеству импульсов за фиксированный интервал вре-

мени, частотам, амплитуде, длительности и форме сигнала.

Аналогичные сигналы получены в ходе многочисленных лабораторных исследований [9, 10 и др.] при нагружении на прессе различных материалов (гранит, мрамор, мел, стеклокерамика, стекло, металлы и сплавы, лёд и проч.), причем характерные виды излучения получены для каждой из стадий напряженно-деформированного состояния, начиная от стадии упругого деформирования и заканчивая стадией разрушения образца.

В качестве примера рассмотрим и сравним формы электромагнитных сигналов (рис. 2), полученных от деформируемых образцов горных пород (А), от пьезоэлектрического источника, расположенного в воздухе в лабораторных условиях (Б) и сигнала ЕЭМИ (В), зарегистрированного в забое тоннеля. Все показанные сигналы имеют визуально похожий характер колебаний. Это, в

Рис. 2. А – форма импульса, полученная экспериментально при деформировании образца горных пород и модельная кривая, рассчитанная в работе [9]; Б – форма импульса от пьезоэлектрического источника, расположенного в воздухе; В – сигнал ЕЭМИ, зарегистрированный в одной из строящихся выработок Петербургского метрополитена (глубина ~78 м)



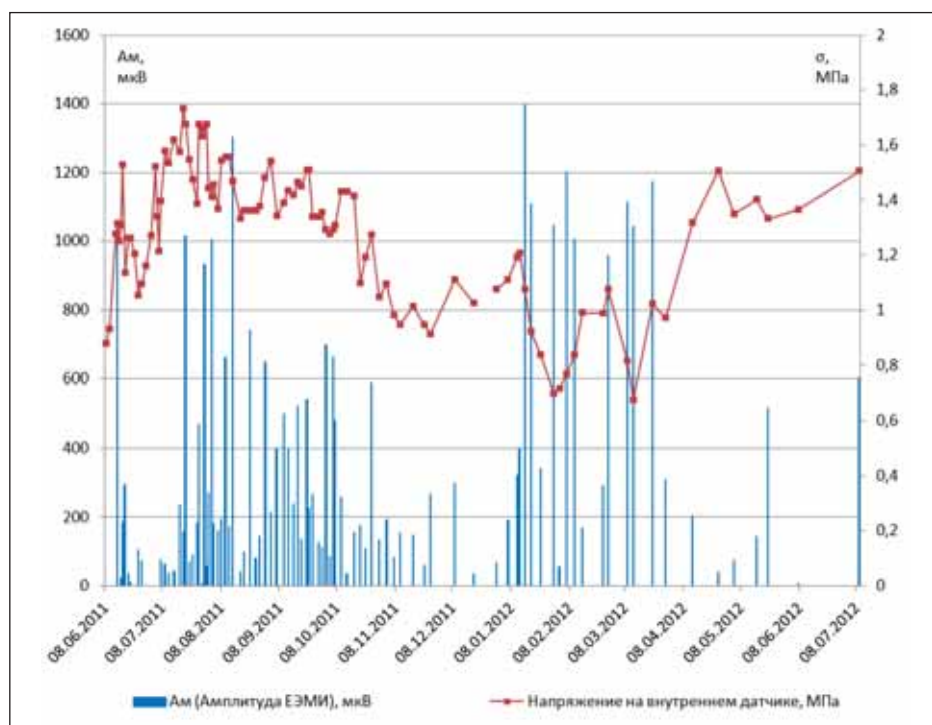


Рис. 3. Пример качественного соответствия параметров естественного электромагнитного излучения и напряженно-деформированного состояния системы крепь-массив тоннеля [11]

первую очередь, относится к быстрому нарастанию амплитуды сигнала до максимума и затем к такому же быстрому спаду. В случае сигналов от нагружаемых образцов и сигналов в забое отмечается их зашумленность высокочастотными колебаниями, а для сигнала в забое – меньшее затухание колебаний, что, вероятно, обусловлено влиянием среды – массива горных пород.

Сравнение характеристик рассматриваемых сигналов показывает, что длительность импульсов электромагнитного излучения, зарегистрированных в массиве горных пород больше относительно длительности электромагнитных сигналов, но полученных в лабораторных условиях при деформировании образцов горных пород (как и сигналов от пьезоисточника), а частоты ниже. Это связано с тем, что полускальные грунты обладают пониженной прочностью относительно используемых при лабораторных испытаниях образцов:

- для электромагнитного сигнала от деформируемого образца горной породы [9] (рис. 2А) длительность составляет 25 мкс, частота ~100 кГц;
- для электромагнитного сигнала от пьезоэлектрического источника (рис. 2Б) – длительность составляет 8 мкс, частота ~54 кГц;
- для электромагнитного сигнала, зарегистрированного в натурных условиях в выработке Петербургского метрополитена (рис. 2В) – длительность составляет 37 мкс, частота ~20 кГц.

Исследованиями с целью идентификации геодинамических процессов по электромагнитному излучению во вмещающих горных породах и конструкциях транспортных тоннелей [11] показано, что даже в условиях неглубокого заложения в массивах полускальных пород происходящие при проходке перерас-

пределения напряженно-деформированного состояния и реализующиеся деформации, как вмещающих горных пород, так и крепей и обделок тоннелей, можно контролировать методом регистрации ЕЭМИ. То есть всегда имеется возможность прогнозировать развитие горно-геологической ситуации в выработке.

В ходе анализа взаимосвязей параметров естественного электромагнитного излучения и напряженно-деформированного состояния системы крепь-массив во время разработки нижнего уступа в тоннеле № 6 бис линии Туапсе – Адлер, при слабых изменениях НДС, которые составили 5–20 % от разрушающих напряжений, были установлены следующие закономерности (рис. 3):

- для всех опытных участков наблюдается соответствие изменений параметров ЭМИ и НДС, что отражает качественную взаимосвязь этих явлений, причем ЭМИ регистрируется и при сжатии, и при растяжении, фиксируемых датчиками;
- главным обстоятельством проявления ЭМИ является достаточно резкое изменение НДС крепи тоннеля.

На сегодняшний день, оперируя перечисленными выше параметрами регистрируемого импульсного излучения, можно говорить и о стадии нагружения массива горных пород, контролировать и прогнозировать развитие процесса изменения напряженно-деформированного состояния вблизи строящегося подземного объекта (рис. 4).

Все показанные свойства метода ЕЭМИ позволяют говорить о возможности его широкого применения для решения разнообразных инженерно-геологических и геотехнических задач. Ниже приведены некоторые практические результаты.

1. В ходе экспериментальных работ по регистрации естественного электромагнитного излучения на объектах Московского метрополитена летом 2016 г. были получены результаты, показывающие возможности метода ЕЭМИ по оценке взаимного влияния разнотоннельных тоннелей, пересекающихся в плане за счет фиксации их опорного давления (рис. 5). Опорное давление в значительной степени определяет процессы, происходящие в краевых частях массива и целиках [12]. Под действием пригрузки материал повреждается, он испытывает необратимые деформации, в нем растут трещины, происходят взаимные смещения частиц и блоков – это ведет к генерации электромагнитных импульсов. Благодаря полученным результатам, перспективным направлением научно-исследовательской деятельности также представляется оперативная оценка взаимного влияния строящихся и существующих объектов (как подземных, так и расположенных на дневной поверхности) по электромагнитному излучению массива.

2. Система регистрации ЕЭМИ является одним из модулей системы автоматизированного непрерывного геотехнического мониторинга, созданной специалистами научно-исследовательского отдела института «Ленметрогипротранс» для обеспечения безопасной эксплуатации тоннелей линии Сочи – Красная Поляна. Метод ЕЭМИ при мониторинге применяется в комплексе с другими методами (непрерывный сейсмомониторинг; непрерывный мониторинг напряженно-деформированного состояния конструкций тоннелей прямыми геомеханическими методами), это позволяет учитывать влияние природных и техногенных факторов на сохранность сооружений и повысить достоверность прогнозов опасных геодинамических явлений. Регистрация ЕЭМИ служит основой оперативного контроля изменения напряженно-деформированного состояния в системе «тоннель – горный массив», находящейся под воздействием статических нагрузок и геодинамических процессов.

3. При мониторинге строительства «олимпийских» тоннелей (2009–2012 гг.) специалистам НИО удалось зарегистрировать аномальные изменения ЕЭМИ в зоне предвестниковых деформаций накануне и во время пятибалльного землетрясения 30 мая 2012 г. с эпицентром в 20 км от города Сочи в акватории Черного моря. Аномалии проявились за 2 часа до основного толчка землетрясения, то есть являлись краткосрочными предвестниками крупного сейсмического события.

Аномалии ЭМИ за несколько дней/часов до землетрясения отмечались в работах российских ученых в различных регионах: Карпаты, Кавказ, Средняя Азия и Казахстан, Камчатка, а также в работах зарубежных ученых: Япония, Китай, Болгария, США, Франция (Кергеленские острова) и др. В большинстве работ отмечается, что накануне землетрясения возможны искажения типичного суточного хода ЭМИ, а также то, что, во-первых, электромагнитный эффект проявляется далеко за пределами землетрясе-

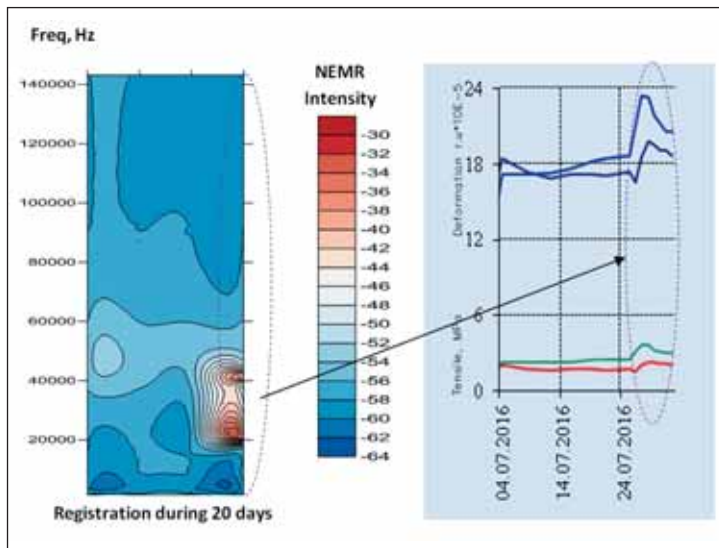


Рис. 4. Сопоставление данных регистрации естественного электромагнитного излучения (левая часть) и прямых изменений напряженно-деформированного состояния системы крепь-массив, выполненных при помощи струнных тензодатчиков в одной из строящихся выработок Петербургского метрополитена

ния (предполагается, что эффект является планетарным) и, во-вторых, изменения ЭМИ, как правило, однотипны для всех компонент поля.

Непрерывная регистрация, накопление баз данных и обработка вариаций естественного электромагнитного излучения массивов горных пород южного склона Главного Кавказского Хребта ведется специалистами ЛМГТ с ноября 2013 г. и продолжается по настоящий момент. Применяется массовый статистический подход, при котором с определенной вероятностью фиксируются основные закономерности естественного импульсного электромагнитного излучения горной породы при ее нагружении и разрушении [13]. Одним из результатов такого подхода является выделение суточных, сезонных, годовых вариаций ЕЭМИ и аномалий, связанных со среднесрочными и краткосрочными предвестниками землетрясений.

Таким образом, использование метода регистрации естественного электромагнитного излучения представляется перспективным направлением научной-исследовательской деятельности института «Ленметрогипротранс». ЕЭМИ – интегральный и оперативный метод, благодаря этим свойствам открывается возможность для решения разнообразных задач на разных масштабных уровнях путем разработки критериев, адаптации методик измерений, алгоритмов фильтрации помех и обработки данных для индивидуальных условий каждого из изучаемых объектов.

Список литературы

1. Гридин О. М., Гончаров С. А. Электромагнитные процессы: Учеб. для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2009. – 498 с.: ил. (Физические процессы горного производства).
2. Басов А. Д., Романевич К. В. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния горных пород и конструкций крепи при строительстве

тоннеля на участке Северокавказской железной дороги Сочи – Адлер. //Инженерная геология. № 6, 2013. С. 36–45.

3. Исаев Ю. С., Лебедев М. О., Басов А. Д., Романевич К. В., Шляев С. А. «Характерные изменения спектров электромагнитного излучения при контроле напряженно-деформированного состояния обделки тоннеля» // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С. 29–36.
4. Stepanow A.W. Über den Mechanismus der plastischen Deformation // Zeitschrift fuer Physik, 1933. – Bd. 81, H. 7–8. – S. 560–564.
5. Воробьев А. А., Завадовская Е. К., Сальников В. Н. Изменение электропроводности и радиоизлучения горных пород и минералов при физико-химических процессах в них // ДАН СССР. – 1975. – Т.220. – № 1.
6. Проскуряков В. М., Шабаров А. Н., Фрид В. И., Баранов В. А. Экспресс-оценка динамических явлений на угольных пластах методом ЭМИ. – Кемерово: Кемеровское кн. Изд-во, 1991.
7. Безродный К. П., Исаев Ю. С., Басов А. Д., Романевич К. В. Проблемы оценки напряженно-деформированного состояния горных пород методом ЕЭМИ. / «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», Всероссийская конференция с участием иностранных ученых (2011; Новосибирск). Труды Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию академика М. В. Курлени (с участием иностранных ученых) (3-6 октября 2011 г.). В двух томах. Т. 1. – Новосибирск: Ин-т горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 2011. С. 233–238.
8. Басов А. Д., Безродный К. П., Бессолов В. А., Касапов Р. И., Майер Г. Р., Матов Ш. Р. Способ

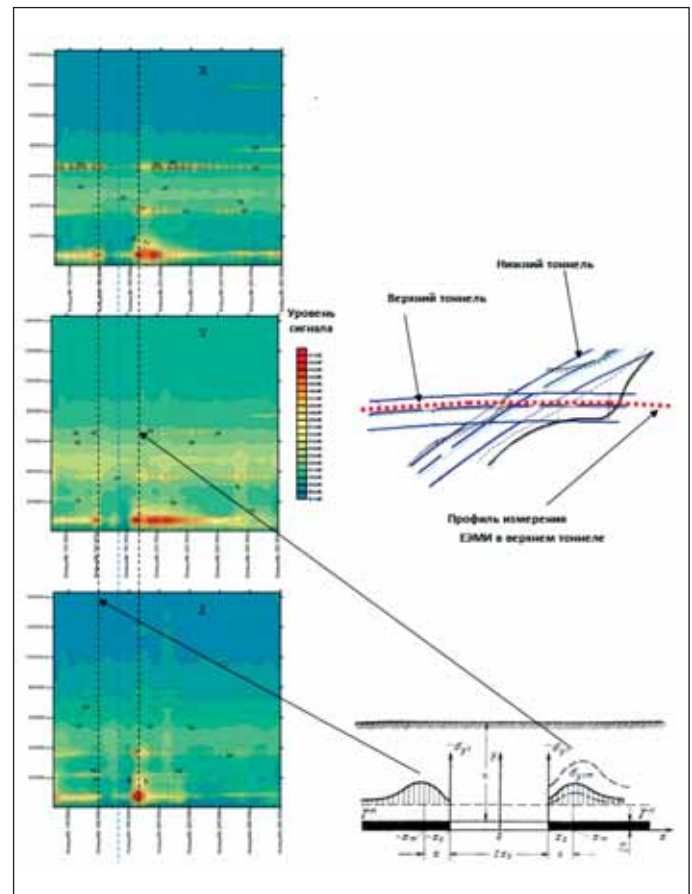


Рис. 5. Результаты регистрации естественного электромагнитного излучения в частотном диапазоне 1–150 кГц в строящемся перегонном тоннеле на участке ПК 00+00 – ПК 02+00. Измерения выполнялись 18.08.2016 г. комплексом ЭМИ-ЗК. Черным пунктиром показан интервал пересечения с более глубоким тоннелем в плане, синим – ось «нижнего» тоннеля

обнаружения зон разломов впереди забоя подземной выработки. Авторское свидетельство N 1679445. //Открытия и изобретения. М., N 35, 1991, с. 190.

9. Babat D., Rabinovitch A., Frid V., 2005. Tensile fracturing in rocks. Tectonofractographic and Electromagnetic Radiation Methods. Springer, Heidelberg, 569pp.

10. М. В. Курлени, А. Г. Вострецов, Г. И. Кулаков, Г. Е. Яковичкая // «Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород». – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 232 с.

11. Романевич К. В. «Разработка критериев и методики идентификации геодинамических процессов по электромагнитному излучению вблизи выработок неглубокого заложения»: Дис. кандидата технических наук. – М., 2015. – 156 с.

12. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. М., Недра, 1983, 280 с.

13. Басов А. Д., Романевич К. В., Шляев С. А. Автоматизированная система регистрации естественного электромагнитного излучения в транспортных тоннелях линии Сочи – Красная поляна / Геофизика-2015. X Международная научно-практическая конкурс-конференция молодых специалистов. Тезисы докладов. – СПб.: СПбГУ, Изд-во ВВМ, 2015. С. 113–116.

Дорогие коллеги!



Вот уже много лет мы с вами трудимся в области освоения подземного пространства, в том числе метростроения. За годы плодотворного труда вами реализовано множество проектов подземных сооружений на всем огромном пространстве России и за рубежом.

Коллективом вашего института были запроектированы замечательные станции метрополитена города Санкт-Петербурга, являющиеся одним из главных его украшений, радующие взор миллионов людей каждый день. Нельзя переоценить ваше участие в проектах строительства железнодорожных и автодорожных тоннелей во всей Российской Федерации, развитии и применении новых эффективных разработок технологий и конструкций подземных сооружений. Ваши успехи неоднократно были отмечены Государственными премиями, Международными наградами и дипломами за достижение высокой эффективности и конкурентоспо-

собности в проектно-изыскательской деятельности в современных экономических условиях, в частности победа на Международном конкурсе International Tunnelling Awards-2011 в номинации «Главный тоннельный проект года» за строительство совмещенной автомобильной и железной дороги Адлер – «Альтика-Сервис».

Наши университет и кафедра тоннелей и метрополитенов все эти годы старались готовить для вас высококвалифицированные кадры инженеров, которые на протяжении многих лет реализовывали смелые, грандиозные и вместе с тем практичные и безопасные проектные решения.

Мне особенно приятно сознавать то, что и сам я в 1960–1970 годы принимал участие в работе вашего института, где получил серьезные навыки инженера-проектировщика.

От имени всего нашего университета и кафедры тоннелей и метрополитенов горячо поздравляю коллектив Ленметрогиипротранса с юбилейной датой – 70-летием со дня основания, и желаю всем вашим сотрудникам больших творческих успехов в проектировании подземных сооружений и многих лет счастливой жизни.

*Заведующий кафедрой тоннелей
и метрополитенов ПГУПС
А. П. Ледяев*



ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА И СТРОЕНИЯ ГРАНИТОИДОВ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ СООРУЖЕНИИ НОВОГО БАЙКАЛЬСКОГО ТОННЕЛЯ ТРАССЫ БАМ



А. И. Арнаутов,
к. г.-м. н., доцент,
начальник
геологического отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



С. Я. Нагорный,
заслуженный геолог
России, главный
технолог-геолог,
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



В. Г. Штыров,
к. г.-м. н., главный
специалист
геологического отдела,
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

Байкало-Амурская магистраль – одна из крупнейших железнодорожных магистралей в мире – пролегает по территории Иркутской, Читинской, Амурской областей, Республик Бурятия и Саха (Якутия), Хабаровскому краю. Наряду с Транссибирской магистралью БАМ служит вторым сквозным выходом России к Тихому океану. Являясь самым коротким железнодорожным путем к портам Тихого океана, в Южную Якутию и другие регионы страны, БАМ сокращает расстояния перевозки пассажиров и грузов до Приморья, Владивостока и Находки более чем на 200 км, до Ванино – почти на 500 км, Якутии – на 600 км. А для пассажиров и грузов, которые следуют на Сахалин, Камчатку и в Магадан, – на 1000 км.

Трасса дороги пересекает полноводные реки, такие как Лена, Верхняя Ангара, Витим, Зeya, Бурея, Амур, семь горных хребтов: Байкальский, Северо-Муйский, Становой, Туранский, Кодарский, Дуссе-Алиньский и Тукурингский, более 1000 км пути проложено в районах вечной мерзлоты, высокой сейсмичности. Техническая характеристика БАМа (сданного в постоянную эксплуатацию МПС СССР) следующая: эксплуатационная длина – 3509 км, протяженность прямых – 1899,8 км, протяженность кривых 1617,5 км, количество ИССО – 3802 км, в т. ч. труб – 1525 шт., малых мостов – 1162 шт., средних мостов – 940 шт., больших мостов – 195 шт., в т. ч. через р. Лену – 419 м, р. Верхнюю

Ангару – 513 м, р. Витим – 556,8 м, р. Селемджу – 706,4 м, р. Бурею – 957 м. Всего мостов – 2297, их общая длина – 96,1 км. Тоннелей всего – 11, в т. ч. Байкальский – 6725 м. Мысовые на озере Байкал: 1 – 387 м, 2 – 1832 м, 3 – 850 м, 4 – 1235 м, Северомуйский – 15 337 м, Кодарский – 2040 м, Нагорный – 1240 м, Дуссе-Алиньский – 1807 м (восстановлен).

На Северомуйском обходе, который был построен в качестве временного (на период строительства Северомуйского тоннеля) обходного пути через Северо-Муйский хребет, построено два петлевых тоннеля № 1 длиной 2139 м, № 2 – 752 м. Общая длина тоннелей составила 34344 м. Станций – 66, разъездов – 144, постов – 7, путепроводов – 11. Построено четыре основных локомотивных депо в Нижнеангарске, Тынде, Зейске и Ургале, свыше 60 городов и поселков.

Пропускная способность БАМа, строившегося с большими перерывами с 1938 г., а в активной фазе с 1974 по 1984 г., в настоящее время составляет около 16 млн т. Но из-за инфраструктурных ограничений наблюдается острый дефицит провозной и пропускной мощности, и поэтому с растущими объемами перевозок в зоне Восточного полигона, БАМ в нынешнем состоянии уже не справляется.

В 2013 г. ОАО «РЖД» приступило к реализации проекта модернизации железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона с раз-

витием пропускных и провозных способностей. В рамках программы модернизации БАМа (строительство вторых главных путей) в 2013 г. Ленметрогипротранс приступил к проектно-изыскательским работам по новому Байкальскому тоннелю второго пути. Главное для нового тоннеля – повысить эксплуатационную надежность и пропускную способность железнодорожного участка на перегоне Дельбичинда – Дабан Восточно-Сибирской железной дороги.

Тоннели относятся к категории уникальных сооружений. Это технически сложный и дорогостоящий элемент строительной отрасли экономики страны. В этой связи в современных условиях придается исключительное большое значение использованию в подземном строительстве наиболее совершенных, научно обоснованных и экономичных технических решений в сфере конструкций, технологий производства работ, комплексной механизации и автоматизации строительства.

Основными задачами инженерно-геологических работ для сотрудников отдела инженерной геологии ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» являлось уточнение геологического строения, изучение инженерно-геологических, гидрогеологических, сейсмических и тектонических условий, а также анализ газовой среды горного массива.

Инженерно-геологические изыскания для проектирования и строительства особо опасных и технически сложных сооружений, к которым относятся тоннели, требуют, как правило, нестандартного и индивидуального подхода, который должен учитывать как особенности самого тоннеля, так и перечень и сложность вопросов, на которые необходимо ответить по результатам изыскательских работ.

Впервые при изысканиях Ленметрогипротрансом, совместно с ТО-12 «Бамтоннельстрой», были использованы станки горизонтального бурения ДИАМЕК-262. Скважины бурились из разведочно-дренажной штольни в сторону проектируемого тоннеля под углом 17–20° от оси штольни (рис. 1).

Общее количество скважин составило 54 шт., общим метражом 6658 м. Полученный материал дал возможность значительно повысить детальность изученности геологического строения и гидрогеологических условий по трассе проектируемого тоннеля. Выполненный комплекс работ позволил получить положительное заключение



Рис. 1. Бурение скважин станком горизонтального бурения ДИАМЕК-262

ФАУ «Главное управление государственной экспертизы России».

Байкальский тоннель расположен на перегоне Дельбичинда – Дабан Восточно-Сибирской железной дороги на территории Иркутской области Казачинско-Ленского района (западный портал) и Республики Бурятия Северо-Байкальского района (восточный портал) в районе перевала Даван Байкальского хребта, вытянутого с севера на юг. Максимальная отметка перевала 994 м, а гольцовых вершин севернее и южнее его до 2000 м. Абсолютные отметки по оси тоннеля изменяются от 760 до 1110 м.

Максимальное превышение хребта над тоннелем до 400 м. Перевальное седло является ледниковой долиной, в центральной части довольно плоское, заболоченное, с отдельными озерами. Обрамляющие склоны довольно крутые, местами имеют ступенчатую форму, хорошо выраженную в рельефе. Хребет является главным водоразделом реки Лены и озера Байкал. У западного склона хребта протекает река Дельбичинда с притоком Западный Даван (бассейн р. Лены), впадающая в р. Кунерму в 2,8 км от портала. У восточного – река Гуджекит с притоком Восточный Даван. Истоки Восточного и Западного Давана расположены в центральной части перевального седла. Режим рек – горного типа, характеризуется стремительным течением, бурными перекатами и порогами, у ручьев с каскадными водопадами.

В районе развиты многочисленные геологические процессы и явления: глыбовые осыпи, горные обвалы, конусы выноса и снежные лавины. Большинство этих процессов приурочены к крутым склонам хребта перевала. Конусы выноса преимущественно стабилизированные.

Климат резко континентальный, но благодаря близости озера Байкал гораздо более мягкий. Характеризуется преобладанием солнечной малотерной погоды и низкой относительной влажностью воздуха. Район отличается боль-

шой суммарной продолжительностью солнечного сияния, она доходит до 2524 часов, что является рекордным для России. Дней без солнца в году бывает только 37. Средняя температура зимой $-20...-25^{\circ}\text{C}$, летом $+20...+25^{\circ}\text{C}$. Зимой морозы редко могут опускаться до -52°C . Летом может устанавливаться жара до $+32^{\circ}\text{C}$, но она смягчается свежим бризом с Байкала. Среднее атмосферное давление на уровне 720 мм. рт. ст.

Территория строительства нового Байкальского тоннеля находится в неблагоприятной геоморфологической ситуации, сложных и очень сложных геологических условиях, характеризующихся высокой тектонодинамической активностью и связанными с ней сейсмичностью и экзогенными проявлениями.

Рассматриваемый район относится к зоне регионального разлома или «Даванской зоне смятия», по которой сочленяется Прибайкальский краевой прогиб с Байкало-Витимским поднятием.

Даванская зона смятия протягивается от мыса Мужинай на озере Байкал в северо-восточном направлении через Даванский перевал до устья р. Абчада более чем на 200 км при ширине зоны от 8–10 до 20 км. Она была выделена в 1960–1961 гг. М. П. Лобановым с соавторами. Позднее Бухаров (1973 г.) называл этот глубинный разлом зоной Главного структурного шва, который в южной части разделяет Чуйский выступ фундамента от Олоkitского прогиба, а северо-западное ответвление его (Даванский-Малоакитканский разлом) является границей Северо-Байкальского вулканоплутонического пояса (СБВПП) и Чуйского поднятия. Неоднократные движения по этим сближенным разломам привели к формированию собственно зоны смятия – мощной и протяженной толщи гранитогнейсов, гнейсогранитов и бластокатаклизитов.

В пределах Даванской зоны гнейсы и мигматиты укучиктинской серии и породы гранитоидного состава интенсивно катаклази-

рованы, милонитизированы, местами преобразованы последующим субщелочным метасоматозом мезопротерозойского возраста. Степень мигматизации пород возрастает по мере сближения разломов.

Кроме того, массив горных пород, вмещающий подземное сооружение, осложнен наличием горных пород со сложными условиями залегания и обладающих различными физико-механическими свойствами, обилием разрывных нарушений, зон повышенной трещиноватости и дробления пород, мощностью от 10,0 до 250,0 м, где отмечается различная по величине перемежаемость участков дробленых и участков разной степени трещиноватости пород. Дробленность пород часто до состояния дресвы и щебня. Эти зоны имеют сложный характер по литологическому и вещественному составу, а, следовательно, и по физико-механическим свойствам слагающих ее образований.

В геологическом строении территории прохождения тоннеля принимают участие милонитизированные и интенсивно катаклазированные породы многофазного Ирельского комплекса гранитоидов среднего протерозоя, слагающие Кунермский массив, в пределах которого различают пять последовательных фаз его становления. Каждая фаза внедрения характеризуется собственным типом горных пород: первая – гранодиоритами, вторая – граносиенитами, третья – ортоклазовыми гнейсами, четвертая – диорит-сиенитами, пятая – порфировидными гнейсогранитами. (Лобанов и др., 1964; Донская и др., 2003). Ирельский интрузивный комплекс впервые был выделен в Прибайкалье в 1956–1958 гг. Л. И. Солопом.

Недостаточная изученность вследствие сложности и многообразия условий проявления магматизма в протерозойских структурах глубинных разломов вызывает необходимость углубленного геологического, петролого-геохимического и минералогического изучения данных образований.

Возраст Ирельского интрузивного комплекса, как среднепротерозойский определяется соотношением гранитоидов с эффузивно-терригенной толщей хибленской свиты (Pt_2) и толщей терригенных образований Байкальского комплекса (Pt_3).

Как говорилось выше, территория строительства Байкальского тоннеля относится к обособленной структурно-тектонической региональной зоне глубинного разлома или «Даванской зоне смятия», мощностью около 6–7 км, по которой сочленяется Прибайкальский краевой прогиб с Байкало-Витимским поднятием. Даванской зоне присущи следующие особенности: преобладание в разрезе магматических пород, широкое проявление тектонических дислокаций и разнообразный геохимический состав.

Тектонические дислокации выражаются в смятии пород в наклонные складки, с падением крыльев под углом $25-35^{\circ}$ и проявлением гнейсовидности.

Интенсивное поднятие и связанная с ним активизация глубинных разломов, окаймляющих Прибайкальский краевой прогиб, созда-

ли благоприятную обстановку для интрузивной деятельности. Произошло внедрение многофазного плутонического интрузива (Ирельский комплекс). Оно происходило в сложной тектонической обстановке, что отразилось в различной структуре этих пород, различной морфологии их тел и пространственном распределении последних.

Внедрение и формирование массива первой фазы (гранодиориты) происходило в более или менее спокойной обстановке медленного поднятия, которая нарушилась общей активизацией тектонических движений. Последние наиболее интенсивно проявились в зонах региональных разломов, особенно в Даванской зоне. В результате этих движений возникли разломы северо-западного простирания, являющиеся оперяющимися Даванской зоны смятия. Заложение разломов сопровождалось блоковым движением по ним. Последние выразились в огнейсовании пород первой фазы вдоль разломов северо-западного простирания. Ориентировка гнейсовидности вблизи Даванской зоны полностью совпадает с ее простиранием (меридиональное). Вблизи же северо-западных разломов гнейсовидность имеет северо-западное направление. Падение гнейсовидности полностью совпадает с падением плоскостей смещения по этим нарушениям.

Основные тектонические нарушения северо-западного простирания имеют целую гамму оперяющих трещин широтного, северо-западного и реже северо-восточного простирания.

Таким образом, после внедрения и формирования крупного массива первой фазы активизировались разломы, окаймляющие прогиб с запада и востока и заложившиеся разломы северо-западного простирания с системой оперяющих зон. Внедрение последующих интрузивных фаз Ирельского комплекса происходило уже в жесткий, консолидированный массив первой фазы и потому строго контролировалось зонами дизъюнктивных нарушений. Пространственная приуроченность гранитоидов второй фазы тяготеет к Даванской, в пределах которой породы второй фазы образуют пластообразные тела, вытянутые согласно простиранию зоны, т. е. субмеридионально. Это позволяет сделать вывод о том, что Даванская зона активизировалась полностью во время внедрения пород второй фазы.

Во время внедрения третьей фазы открылись разломы северо-западного простирания, но Даванская зона была в это время в какой-то мере залечена внедрившимися по ней гранитоидами второй фазы.

Гранитоиды третьей фазы пространственно приурочены к разломам северо-западного простирания и западной зоне регионального разлома, по которой краевой прогиб сочленяется с платформенными сооружениями. Третья фаза образует небольшие по размерам, вытянутые согласно простиранию зон штокообразные тела.

После внедрения гранитов третьей фазы область тектонических подвижек сужается, и их проявление фиксируется только в пределах Даванской зоны смятия. Направление

тангенциальных сил приобретает широтный характер, что отчетливо подчеркивается развитием бластических структур с субмеридиальным направлением. Фиксируются проявления тектоники по интенсивной перекристаллизации и бластомилонитизации гранитоидов второй фазы Ирельского комплекса, а также по развитию в пределах зоны крупных инъекционных залежей порфировидных сиенито-диоритов четвертой фазы, явно приуроченных к ослабленной зоне.

Завершающим этапом среднепротерозойского тектономагматического цикла явились тектонические движения в Даванской зоне, выразившейся в изменении гранитоидов четвертой фазы в приконтактных частях их тел. Эти изменения представлены разнейсованием и милонитизацией сиенито-диоритов четвертой фазы. Характерно, что динамометаморфизм получил развитие только в периферической части тел, не затрагивая центральные.

Эти тектонические движения сопровождалось внедрением гранитов пятой фазы Ирельского комплекса, с которыми связано широкое развитие мигматизации, а также процессов инфильтрационного и диффузионного метасоматоза. Образуя довольно

крупные, вытянутые в субмеридианальном направлении тела, гранитоиды пятой фазы каймами мигматитов.

Из большого количества тектонических нарушений Даванской зоны можно выделить наиболее характерные: надвиговые зоны, зоны интенсивного дробления и милонитизации пород, швы неотектонических движений.

Надвиговые зоны распространены в западном предпортальном участке, где они имеют мощность 5–10 м.

Зоны интенсивного дробления и милонитизации пород связаны с Кунермским надвигом – крупнейшей дизъюнктивной формой тектонической структуры района, ограничивающей с запада Даванскую зону смятия. Надвиг протягивается с юго-запада на северо-восток и проявляется в рельефе в виде уступа на западном склоне хребта. Породы в зоне надвига представлены милонитами и брекчиями. В районе тоннеля по Кунермскому надвигу проходит граница между первой и пятой фазами Ирельского комплекса.

Неотектонические движения Даванской зоны смятия проявились в блоковых смещениях и в подновлении подвижек по ранее существовавшим швам нарушений. Выделяются

Рис. 2. Врезка нового Байкальского тоннеля. Западный портал





Рис. 3. Монтаж тоннелепроходческого механизированного комплекса



Рис. 4. Строительство нового Байкальского тоннеля

до шести неотектонических швов, хорошо выраженных в рельефе в виде уступов и фиксирующихся по керну разведочных скважин, а также геофизическими методами. Амплитуда перемещения по швам неотектонических разломов составляет первые десятки метров. Неотектонические движения имеют главенствующее значение в формировании современного рельефа, в виде поднятия хребта и опускания впадин.

В настоящее время сейсмическая активность в регионе продолжается. Возобновление подвижек в новейшее время сопровождается образованием зон брекчированных пород.

Согласно результатам выполненного микросейсморайонирования на участке строительства следует ожидать сотрясений с преобладающими периодами от 0,1 до 0,6 с и интенсивностью до 8,5 баллов.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы: основные науч-

ные и практические результаты выполненных ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» инженерно-геологических работ заключаются в следующем.

1. Изучалось геологическое строение, условия образования, петрография района, дана инженерно-геологическая оценка состава и строения гранитоидов Ирельского комплекса в Даванской зоне смятия.

2. Изучалось состояние горного массива (в том числе и геодинамическое), то есть выявлялась тектоническая нарушенность горных пород, активность и направленность тектонических движений, дизъюнктивная нарушенность тектонических зон.

3. Оценивались инженерно-геологические условия проходки тоннеля с выделением участков с наиболее сложными условиями проходки.

4. Результатом комплексных работ явились структурно-тектонические карты, и

инженерно-геологические разрезы, с выделением на них обводненных зон повышенной трещиноватости, выделены разрывные нарушения и участки возможного распространения опасных геологических процессов.

5. Таким образом, по результатам научно-исследовательских и инженерно-геологических работ, и на основании обработки всей имеющейся геологической информации, были даны инженерно-геологические условия строительства нового Байкальского тоннеля.

6. В настоящее время, суммируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы: разработанные методы отдельных видов работ, материалы и объемы выполненных геологосъемочных, горнопроходческих и геофизических работ, позволили принять принципиальные проектные решения, которые значительно снизили риски строительства тоннеля в сложных горно-геологических условиях.

В 2014 г. началось строительство нового Байкальского тоннеля на перегоне Дельбичинда – Дабан Восточно-Сибирской железной дороги 1006 км – 1013 км участка Усть-Кут – Северобайкальск (рис. 2).

Проходка однопутного тоннеля осуществляется параллельно существующему, тоннелепроходческим механизированным комплексом Lovat RM394DS диаметром резания 10,02 м с монтажом сборной железобетонной обделки (рис. 3).

Для проходки штолен, стартовой и приемной камер тоннеля используется буровзрывной способ, с применением буровых установок Sandvik DC 120, Axera T11-215.

На конец октября 2016 г. механизированным комплексом пройдено 2907 м тоннеля (рис. 4). Дренажной штольни восточного портала пройдено 480 м, дренажной штольни западного портала – 164 м.



ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА БОЛЬШИХ ГОРОДОВ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ МОСКВЫ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)



С. Я. Нагорный,
заслуженный геолог
России, главный
технолог-геолог,
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Н. Н. Лакова,
главный специалист
геологического отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



И. В. Русанов,
к. г.-м. н., инженер
геологического отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

В заголовке статьи вынесен вопрос, достойный не одной докторской диссертации. Но, тем не менее, попробуем кратко очертить круг основных проблем, возникающих при инженерно-геологическом обосновании проектирования метрополитена в двух столицах России, связанных со сложным инженерно-геологическим строением массива, в толще которого располагаются тоннели, станции и прочие многочисленные сооружения метрополитена, о которых простой пассажир и не подозревает. Существенное влияние на строительство и последующую эксплуатацию метро оказывает так же ряд инженерно-геологических процессов, вызванных как естественными природными причинами, так и техногенным воздействием человека на подземное пространство.

Для Москвы основными осложняющими проектирование и строительство метрополитена инженерно-геологическими особенностями строения массива (рис. 1) являются:

- многослойная структура залегающих в верхней части геологического разреза четвертичных отложений, представленных переслаиванием относительно водонепроницаемых глинистых грунтов с водонасыщенными песками;
- сильная фациальная изменчивость отложений;
- наличие глубоких врезов палеодолин рек. По данным института геоэкологии РАН [1] в Москве в пределах МКАД существовало

более 800 водотоков. Из них с поверхности города исчезли (заклучены в подземные коллекторы или полностью засыпаны) примерно 465 водотоков, а сохранились полностью или частично 355 водотоков, из которых 70 – реки, около 80 – приречные родники с короткими ручьями, около 205 – учтенные временные водотоки, т. е. весенние ручьи в балках, ложбинах и лощинах;

- наличие большого количества валунов в моренных отложениях, что значительно ос-

ложняет проходку, особенно с применением тоннелепроходческих комплексов;

- наличие в геологическом разрезе пластов закарстованных, сильно обводненных известняков.

Основные геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические процессы и явления, осложняющие строительство метрополитена в Москве и зачастую активизирующиеся при подземном строительстве, это:

- суффозия (процесс механического выноса мелких частиц из массива горных пород под воздействием потока подземных вод (рис. 2). Наиболее часто суффозия происходит в песчаных, лёссовых и других дисперсных породах [2]. В Москве суффозия затрагивает залегающие в верхней части массива горных пород пески, супеси и легкие суглинки. Вода, просачиваясь сквозь них, выносит отдельные частицы, тем самым ослабляя эти породы и даже образуя подземные полости и каналы. Со временем ослабленные породы уплотняются, полости обрушаются, и на земной поверхности возникают оседания, провалы, а иногда и оползни. По своему вещественному составу и условиям залегания наиболее благоприятной средой для суффозионного процесса в Москве являются флювиогляциальные и аллювиальные четвертичные, а также меловые и юрские пески, современные оползневые и техно-

Рис. 1. Схематизированный разрез верхней части земной коры территории Москвы. Индексами обозначены: AR-PR₁ – архейско-нижнепротерозойский комплекс пород кристаллического фундамента, PR₂ – верхний протерозой, С – палеозой, J и К – юрские и меловые отложения мезозоя, Q – комплекс четвертичных отложений

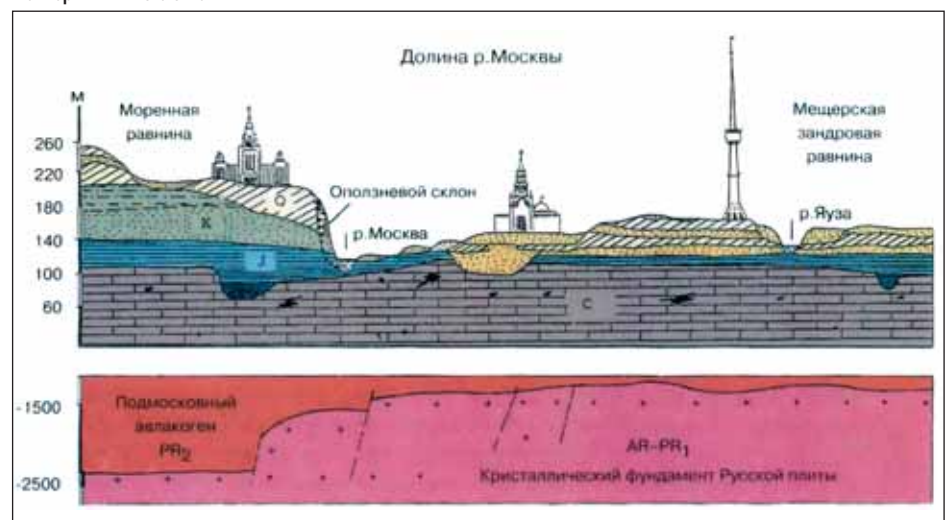




Рис. 2. Проявление суффозионных процессов на борту карьера

генные накопления. Отсюда можно сделать вывод – для суффозионных процессов наиболее благоприятны участки моренной равнины, расположенные, в основном, в южных и юго-западных районах города;

- пльвуны (пески, обладающие ничтожно малым сцеплением и легко разжижающиеся и оплывающие при очень малых разрушающих напряжениях). Кроме того в юго-западной части территории города Москвы в разрезе меловых отложений встречаются слои тяжелых, пылеватых, плотных, влажных, практически не набухающих глин. При механическом воздействии эти грунты в результате нарушения структурных связей теряют связность и оплывают, что также может осложнять подземное строительство;

- карстообразование (карст – совокупность явлений, связанных с деятельностью воды (поверхностной и подземной) и выражающихся в растворении горных пород (гипсы, известняки, доломиты, каменная соль) и образовании в них пустот разного размера и формы [2], рис. 3). Многочисленные проявления карста в г. Москве были обнаружены метростроевцами в 30-х годах прошлого века при прокладке первых линий метро. При проходке подземных выработок были встречены разрушенные зоны известняков, многочисленные трещины и мелкие карстовые полости, карстовые каналы высотой до 2,0–2,5 м и длиной до 50–300 м карстовые воронки и котловины на поверхности каменноугольных отложений (Воробьевы горы, Зарядье,

Рис. 3. Карстовая пещера



Краснохолмский мост, Рижский вокзал, Таганка, Павелецкий вокзал и др.) На территории Москвы средне-верхнекаменноугольные карбонатные породы вскрываются под четвертичными отложениями в пределах древних погребенных долин, на глубине от 20 до 50 м. Наибольшую протяженность они имеют в пределах прадолин рек Москвы и Яузы. Среднекаменноугольные отложения сложены преимущественно органогенными известняками с прослоями мергелей и доломитов, местами окремненными, пористыми, сильнотрещиноватыми и закарстованными. Верхнекаменноугольные карбонатно-глинистые породы представлены чередованием известняков, мергелей, глин и доломитов. Известняки органогенные, глинистые, мергелистые, местами окремненные, пористые, кавернозные, сильнотрещиноватые, закарстованные, местами разрушенные до щебня, с прослоями доломитовой муки. Карст вызывает большие затруднения при строительстве метро, зданий и сооружений глубокого заложения, основанием которых являются закарстованные породы. В таких условиях при проектировании станций и притоннельных сооружений метрополитена, строящихся открытым способом, необходима «стена в грунте» с заглублением в относительный водоупор минимум на 2 м и строительное водопонижение, организация которого в условиях плотной городской застройки зачастую осложняется вероятностью возникновения недопустимых осадков зданий и сооружений;

- техногенное изменение грунтов в результате применения современных технологий (замораживание, струйная цементация (Jet Grouting) и т. д.);

- загрязнение подземных вод и грунтов. В Москве в пределах древних, доледниковых долин четвертичные отложения залегают непосредственно на каменноугольных карбонатных закарстованных и трещиноватых породах. Гидрогеологическая обстановка характеризуется наличием системы гидравлически взаимосвязанных каменноугольных и четвертичных горизонтов, обусловившей техногенное загрязнение подземных вод в этих районах;

- агрессивность подземных вод и грунтов к бетону и металлическим конструкциям;

- нарушение гидродинамического режима подземных вод в результате использования подземных вод для водоснабжения, строительного водопонижения, а также при возведении водонепроницаемых «стен в грунте» при строительстве котлованов станций и притоннельных сооружений, что приводит или к снижению уровней подземных вод и активизации осадок поверхности и суффозионным процессам или, наоборот, к подтоплению подземных коммуникаций и фундаментов зданий.

Условия строительства метрополитена в Санкт-Петербурге значительно отличаются

ся от Москвы. Четвертичные отложения в Санкт-Петербурге залегают на неровной поверхности дочетвертичных пород – верхнекотлинских глинах – в северной и центральной части города, и на нижнекембрийских – в южных районах Санкт-Петербурга. Присутствие палеодолин в подземном рельефе кровли коренных пород во многом определяет специфичность разреза четвертичной толщи и ее мощность: вне палеодолин она имеет мощность порядка 30 м, а в тальвеговых зонах палеодолин возрастает до 120 м (рис. 4).

Разрез нижней толщи в Санкт-Петербурге представлен коренными породами, имеющими возраст 550–650 млн лет и прошедшими несколько стадий литификации, что определило их высокую степень уплотнения и обезвоживания. На юге города в строении верхней толщи выделяют нижнекембрийские «синие» глины (Є1sv), а под ними – ломоносовские песчаники с прослоями глин (Є1lm), к которым приурочен напорный водоносный горизонт. Следует отметить, что нижнекембрийские глины активно взаимодействуют с водой, могут набухать и при перепаде напряжений выдавливаются в подземные выработки. В северном и центральном районах города непосредственно под четвертичной толщей, а также в южной части под нижнекембрийскими отложениями залегают верхнекотлинские аргиллитоподобные глины верхнего венда с тонкими прослоями песчаников (V2kt2). Полная мощность этих отложений варьирует от 12–20 до 95–126 м, что связано, как уже отмечалось выше, с наличием глубоких эрозийных врезов от древней речной системы, заполненных в четвертичное время слабыми водонасыщенными песчано-глинистыми

осадками (погребенные долины). Толща котлинских глин является благоприятной средой для строительства и эксплуатации подземных сооружений – линий метро, канализационных коллекторов и др. При глубоком заложении тоннелей и станций возникают две основные проблемы:

- пересечение древних палеодолин. Классическим примером является ряд аварий на перегоне между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества», как при строительстве, так и при последующей эксплуатации, приведших в конце концов к закрытию перегона, в результате чего северо-восточный район города с населением более полумиллиона человек был отрезан от остальной части города. Транспортные тоннели в результате были затоплены, а проблема осадок территории и ликвидации последствий аварии не решена по сей день;

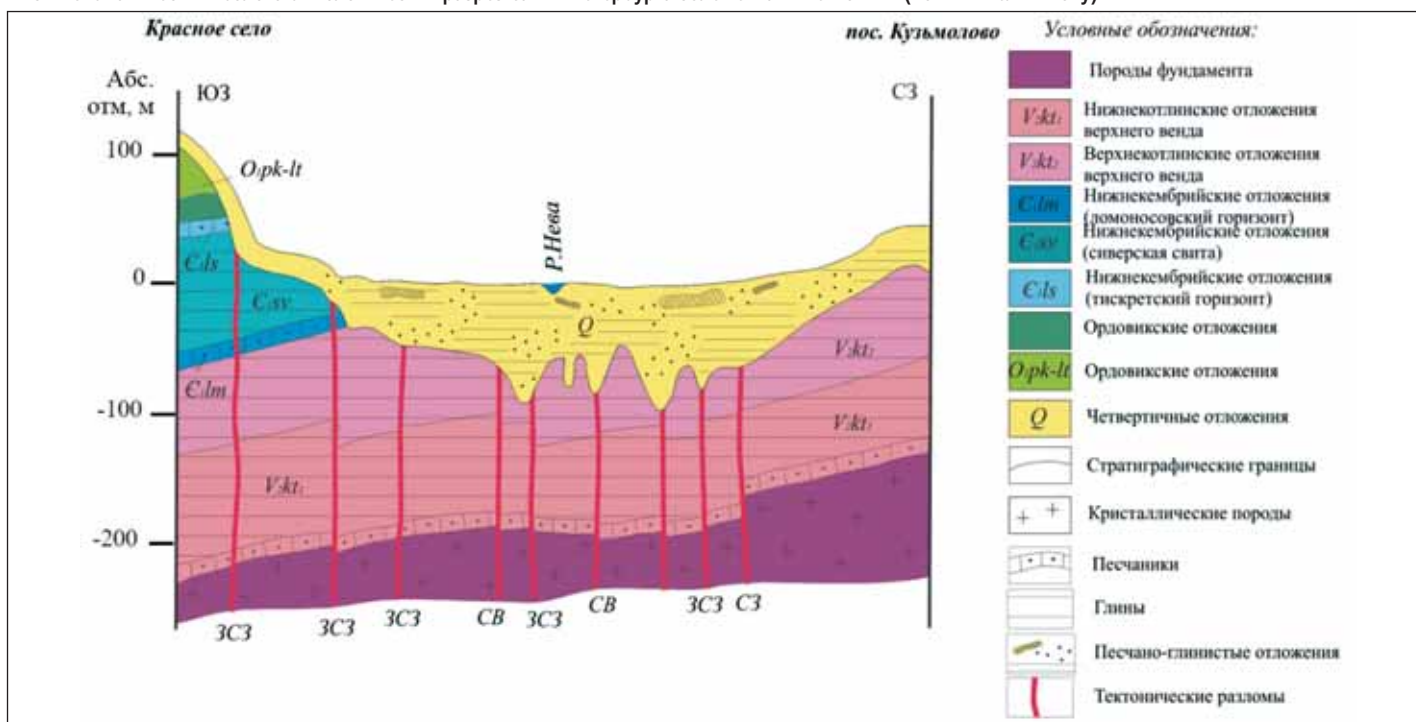
- пересечение горными выработками метрополитена обводненных прослоев песчаников, встречающихся в верхнекотлинских и кембрийских глинах. Так как условия проходки по плотным аргиллитоподобным глинам достаточно благоприятные, в тоннелях не предполагается водонепроницаемая обделка. При пересечении обводненных песчаников в тоннели начинает поступать вода. Объемы водопритока не велики (на одном из строящихся тоннелей они, к примеру, составляют 2–3 м³/сут), но так как организованного водоотведения не предусмотрено и дренаж подземных вод в тоннель запрещают существующие нормативные документы, вода «неорганизованно» капает и считается где ей вздумается, и возникают проблемы с эксплуатацией установленного в тоннелях оборудования.

Вмещающей средой тоннелей малой и средней глубины заложения служат отно-

сительно молодые четвертичные водонасыщенные песчано-глинистые отложения различного происхождения: ледниковые, водно-ледниковые, в том числе озерно-ледниковые, озерные и морские, а также болотные. Причем последние залегают или залегают (до освоения территории) в самой верхней части разреза. Вся толща четвертичных отложений может рассматриваться как неустойчивая, обладающая способностью к развитию пластических деформаций, что способствует оплыванию грунтов в подземные выработки при нарушении технологии ведения горных работ или неправильном её выборе. Обоснование технологии ведения горных работ должно быть адекватно инженерно-геологическим условиям при обязательном учете наличия подземных вод, оценке их гидродинамического режима и коррозионной способности. Инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации подземных сооружений в этих грунтах аналогичны московским.

Если абсолютные отметки земной поверхности не превышают плюс 9,0 м, то в верхней части разреза развиты современные озерно-морские песчано-глинистые литориновые отложения (m, l H) мощностью от 3–5 до 12–20 м, реже более 20 м. В этих грунтах отмечается присутствие органических остатков, в толще обнаруживаются слои погребенных торфяников. К литориновым отложениям приурочен водоносный горизонт, при этом водовмещающими грунтами служат мелкие либо тонкие пески пылеватые серого цвета. В пределах города этот водоносный горизонт загрязнен хлоридами, соединениями серы и азота. Воды характеризуются повышенным содержанием органических соедине-

Рис. 4. Схематический геолого-литологический разрез Санкт-Петербурга с элементами тектоники (по Е. К. Мельникову)



ний природного и техногенного генезиса. В нижней части разреза, реже средней прослеживаются супесчаные и суглинистые прослои, находящиеся в текучем, текуче-пластичном и пластичном состоянии. Водонасыщенные литориновые пески под действием незначительного гидродинамического давления легко переходят в плывуны. Литориновые отложения имеют высокую биокоррозионную способность по отношению к бетонам и железобетонам за счет их загрязнения и наличия микробиоты. Наличие органических соединений создает условия для формирования анаэробной среды, в которой легко протекают электрохимические процессы, приводящие к постепенному снижению толщины стальных труб за счет восстановительных реакций, способствующих образованию легко растворимого Fe^{2+} .

Ниже литориновых отложений прослеживаются озерно-ледниковые песчано-глинистые грунты (lgIIIbl), которые широко развиты на всей территории Санкт-Петербурга. На абсолютных отметках более плюс 10 м озерно-ледниковые отложения залегают непосредственно у земной поверхности и перекрыты только техногенными образованиями. При большой мощности (более 7 м) имеют трехслойное строение. В верхней части разреза – это неяснослоистые супеси, реже суглинки, часто ожелезненные, что повышает их прочность и устойчивость. В средней части разреза глинистые отложения имеют ленточную текстуру – ритмичную слоистость: чередование глинистых прослоев с пылеватыми, реже песчаными прослоями. Грунты в средней части разреза характеризуются повышенной влажностью, низкой плотностью и неустойчивыми формами консистенции. Глинистые отложения этой зоны имеют тиксотропные свойства, т. е. обладают способностью к разжижению при воздействии динамических либо вибрационных нагрузок, а в состоянии покоя восстанавливают свою прочность, однако не до первоначальных значений.

В нижней части разреза наблюдается снижение содержания глинистой фракции в озерно-ледниковых отложениях, исчезает ленточная текстура, однако эти грунты продолжают оставаться слабыми. Эти отложения неустойчивы при проходке траншей, котлованов, поскольку способны к развитию деформаций выпора дна выработок, оплыванию их стенок. Озерно-ледниковые отложения имеют высокую степень водонеустойчивости за счет значительного содержания пылеватых фракций (0,05–0,002 мм), легко размокают и размываются.

Вся толща озерно-ледниковых отложений обладает способностью к сильному морозному пучению. К пылеватым и песчаным прослоям этих отложений приурочены напорные воды, что способствует дополнительному снижению их прочнос-

ти и повышению степени неустойчивости. При высокой степени загрязнения озерно-ледниковых отложений, особенно их микробной пораженности, снижается прочность глинистых разностей, а песчаные образования обычно трансформируются в плывуны.

Особенно следует отметить негативные изменения в толще озерно-ледниковых отложений, если они залегают под болотными образованиями (чаще всего на пониженных участках). Под болотами в озерно-ледниковых отложениях обычно отсутствует верхняя ожелезненная зона, глинистые грунты обладают прочностью $\tau < 0,02$ МПа и модулем общей деформации $E_0 \leq 5$ МПа при ярко выраженной способности к разжижению при динамических нагрузках. Кроме того, грунты под болотами обладают выраженной биокоррозионной агрессивностью [5].

Ниже озерно-ледниковых отложений прослеживаются ледниковые образования – морены, которые характеризуются большим разнообразием гранулометрического состава. На основе анализа фондовых материалов было установлено, что около 60 % таких опробованных отложений – суглинки, несколько более 33 % – супеси, менее 10 % – глины. Однако в толще морены достаточно часто встречаются изолированные линзы крупных песков, реже мелких и пылеватых, которые содержат напорные воды, с давлением до 2 атм. Такие линзы, которые часто не оконтуриваются в процессе изысканий, могут сыграть отрицательную роль при проходке глубоких котлованов и подземных выработок, поскольку высокие напоры способствуют формированию прорывов вод из таких локальных линз, что сопровождается выносом песков и соответственно развитием деформаций вмещающей толщи.

Моренные образования достаточно часто содержат единичные включения валунов различных размеров, реже в их толще встречаются скопления крупнообломочных включений, что существенно затрудняет проходку подземных выработок, а также формирует зоны концентрации напряжений на контакте жесткой среды (валунов) и достаточно податливой морены без включений обломочного материала.

В пределах района Санкт-Петербурга выделяют три морены (по возрасту). Верхняя – ошашковская (ранее лужская) морена (gIIlos) распространена на большей части территории города. Средняя – московская морена (gIIms) вскрывается в палеодолинах в северной, центральной и юго-восточной частях города. Нижняя вологодская (ранее днепровская) морена (gIIvl) встречается редко, только в тальвегах глубоких долин и не имеет принципиального значения для строительства подземных сооружений.

Состояние, прочность и деформационная способность верхней (ошашковской) и

средней (московской) морен во многом зависят от условий их образования, глубины залегания. Несмотря на высокую плотность сложения морены, её физическое состояние по консистенции может варьировать в широких пределах от твердой до текучей. Согласно нормативным документам для таких типов отложений обычно рекомендуются высокие значения прочности и деформационной способности. Однако исследования, проведенные в СПГИ (ТУ) под руководством проф. Р. Э. Дашко, показали, что необходимо выделить несколько типов морен по их инженерно-геологическим особенностям и поведению во взаимодействии с сооружениями [5]. Межледниковые (межморенные) отложения сложены пестрыми по генезису и литологическому составу породами – песками, супесями, суглинками. Выделяется верхний межморенный горизонт – между московской и ошашковской, и нижний – между вологодской и московской моренами. Мощность межморенных отложений изменяется в широких пределах от 1–2 до 30–45 м в погребенных долинах.

Наибольшее развитие в межледниковых горизонтах имеют отложения ледниковых потоков (флювиогляциальные f II, III) и озерно-ледниковые отложения (lgII, III). Флювиогляциальные отложения сложены разнозернистыми песками с включениями разного количества гравия, гальки и валунов, содержащие напорные воды. Озерно-ледниковые отложения представлены мелко- и тонкозернистыми песками, супесями и глинами характерного ленточного строения. Среди этих отложений распространены «ложные» и истинные плывуны.

Грунтовые воды имеют региональное распространение на территории города, режим которых нарушается в островной части существованием шпунтовых ограждений и набережных, формирующих локальные, практически замкнутые гидрогеологические системы в пределах отдельных островов.

На территории города выделяется два подтипа гидродинамического режима грунтовых вод. В периферийных северных, северо-восточных и восточных районах с расчлененной застройкой и обилием зеленых массивов реализуется естественный и слабонарушенный гидродинамический режим, который определяется сезонными климатическими изменениями: предвесенние низкие уровни устанавливаются с середины февраля до конца марта; весенний максимальный уровень – в апреле-мае. При обилии осадков в летний период, обеспечивающих высокое положение уровня подземных вод до конца года, летне-осенние и осенне-зимние экстремумы сильно сглаживаются. Отмечается уменьшение годовой амплитуды колебаний уровней подземных вод.

В островной части города гидродинамический режим подземных вод определяется преимущественно, техногенными факторами. Сплошная застройка, асфальтовое покрытие и прочее приводит к его малой

зависимости от климатических колебаний. Отмечается сглаженность экстремальных значений уровней и незначительная годовая амплитуда колебаний. Отсутствие зон активного дренирования подземных вод в пределах исторического центра города (за счет шпунтовых ограждений и набережных водотоков, низких абсолютных отметок и плоского рельефа) предопределяет их застойный гидродинамический режим и подтопление территории. Подтопление усиливается в местах утечек канализационно-ливневых, водопроводных и других коммуникаций (при этом возникают локальные купола подпора, предопределяющие значительную дифференциацию абсолютных отметок уровня подземных вод), а также за счет конденсационных процессов. В настоящее время практически всю островную часть города можно рассматривать как зону подтопления. Однако в некоторых случаях при прокладке подземных коммуникаций с устройством дренажа и осушении этих грунтов происходит снижение уровня грунтовых вод, вследствие чего «оголяются» многочисленные свайные и рязевые фундаменты зданий старой постройки, приводящие к их разрушению и дополнительным осадкам и деформациям сооружений.

Гидрохимический режим подземных вод, как и гидродинамический, определяется техногенными факторами (исключение составляют периоды наводнений).

Значительный уровень загрязнения подземных вод фиксируется практически на всей территории исторического центра, особенно в зонах палеодолины, которые являются ложбинами стока и аккумулируют загрязняющие компоненты. В таких зонах, как правило, формируются наиболее неблагоприятные геозоологические условия, развиваются различные негативные физико-химические и биохимические процессы.

При строительстве подземных сооружений необходимо учитывать действие высоких напоров нижнего межморенного водоносного горизонта.

Природные и природно-техногенные процессы и явления [4].

Все диагностируемые процессы и явления по критерию опасности условно разделяются на три группы: I – проблематично опасные эндогенные процессы; II – опасные экзогенные процессы и явления; III – экзогенные процессы со средним и низким уровнями опасности.

К первой группе отнесены эндогенные процессы, которые включают:

- малоамплитудные движения отдельных структурных блоков, происходящие по всем дизъюнктивным разломам в вертикальном направлении. При этом территория Санкт-Петербурга, приуроченная к узлам пересечения разнонаправленных разломов каледонского, герцинского, альпийского, а также современного времени их активизации, определяет проявление структуры типа «битой

тарелки» с определенной скоростью движения отдельных блоков разных размеров;

- сейсмичность Санкт-Петербурга, которая в настоящее время оценивается пятью баллами. Ряд исследователей предполагают вводить повышение балльности до шести, что может быть рассмотрено только после проведения специальных исследований и реализации геодинамического мониторинга;

- радоноопасность и глубинные эманации. Техногенная деятельность в подземном пространстве города может в значительной степени изменять (усиливать или ослаблять) миграцию радионуклидов, в том числе и радиоактивных газов.

Из экзогенных процессов второй и третьей групп к наиболее опасному процессу следует отнести негативную трансформацию песчано-глинистых пород как четвертичного, так и дочетвертичного возраста при изменении физико-химических и биохимических условий. Причем, такие изменения могут быть вызваны не только техногенным фактором, например загрязнением (загрязнением) подземной среды, но и действием природных условий, в частности широким развитием загоренных болот и отложений, обогащенных органическим материалом. Негативная трансформация песчано-глинистых грунтов под воздействием физико-химических и биохимических факторов приводит к развитию таких природно-техногенных явлений как: образование плывунов, структурно-неустойчивых грунтов, что, в свою очередь, формирует дефицит несущей способности грунтов в основании наземных сооружений, развитие значительных и неравномерных осадок зданий, увеличение давления на крепь подземных выработок, потерю устойчивости откосов водотоков и др. Изменение физико-химических и биохимических условий приводит к деградации не только грунтов, но и строительных материалов.

К экзогенным процессам относится биохимическая газогенерация. Микробная деятельность может сопровождаться образованием биохимических газов, генерируемых бактериями различных физиологических групп в процессе преобразования органических субстратов.

Потенциально опасными в отношении биохимической газогенерации не только метана и углекислого газа, но и сероводорода являются зоны погребенных болотных массивов в Санкт-Петербурге.

Наличие в южных районах города моренных микулинских отложений верхне-среднечетвертичного возраста, содержащих большое количество органических веществ, из которых выделяется метан и скапливается в песчаных прослоях, создает иногда очень сложные условия при их вскрытии котлованами и тоннелями. Так, например, на перегоне «Обухово» – «Рыбацкое» для проходки тоннелей были выполнены мероприятия по

дегазации и вентиляции загасованных пластов и принудительной вентиляции из забоя через дегазационные скважины.

К числу природно-техногенных процессов среднего уровня опасности, развивающихся на склонах рек и откосах каналов Санкт-Петербурга и оказывающих влияние на устойчивость и нормальное функционирование набережных, инженерных коммуникаций и расположенных вдоль водотоков зданий и сооружений, следует отнести оползневые процессы.

На интенсивность развития оползневых деформаций в пределах откосов водотоков оказывает влияние нерегулируемая хозяйственная деятельность человека (утечки техногенных вод, динамическое действие транспорта).

Наибольшее значение имеют следующие техногенные процессы:

- большие, неравномерные, длительно незатухающие осадки зданий и сооружений и окружающей территории;
- подъем территорий подсыпкой или намывом, образование слоев техногенных грунтов (намытых песков, отвалов грунта, золы, городского мусора и др.);
- деформации зданий и сооружений, расположенных в зонах развития мутьды оседания при строительстве тоннелей;
- потеря устойчивости несущих слоев оснований зданий и сооружений, сложенных глинистыми грунтами в состоянии незавершенной консолидации или подвергшихся промерзанию-оттаиванию;
- разрушение природной структуры грунтов при традиционных способах производства земляных работ;
- плывунные явления при открытом водоотливе из котлованов и траншей;
- изменение несущей способности свай вследствие развития сил отрицательного трения на участках, поднятых намытым или насыпным грунтом;
- развитие процессов гниения торфа, органических включений в грунте и деревянных элементов подземных конструкций при понижении уровня подземных вод;
- механическая суффозия грунта при открытом водоотливе и авариях на сетях.

Список литературы

1. «Москва. Геология и город» под ред. В. И. Осипова и О. П. Медведева, Москва, 1997 г.
2. Горная энциклопедия. – М.: Советская энциклопедия. Под редакцией Е. А. Козловского. 1984–1991.
3. Геологический атлас Санкт-Петербурга, 2009 г.
4. «Проектирование фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге». ТСН 50-302-2004 Санкт-Петербург. Г. Санкт-Петербург, 2004 г.
5. Р. Э. Дашко, О. Ю. Александрова, П. В. Котюков, А. В. Шидловская «Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга». Развитие городов и геотехническое строительство, № 1/2011.

Искренне поздравляем славный коллектив Ленметрогиипротранса с 70-летием!

За многолетний период своей деятельности ваша организация, созданная как филиал нашего института «Метрогиипротранс», превратилась в крупную самостоятельную проектно-изыскательскую и научную организацию, успешно осуществляющую проектное обеспечение строительства метрополитенов и транспортных тоннелей высококачественной проектной документацией. Современный технический уровень проектных решений, использование новейших научных разработок, мощная информационная база, а также высокая квалификация специалистов обеспечили строительство ряда уникальных объектов, к числу которых следует отнести тоннели на Байкало-Амурской магистрали, сооруженные в особо сложных инженерно-геологических условиях, подводный автодорожный тоннель из опускных секций под Морским каналом в Санкт-Петербурге, двухэтажную пересадочную станцию метрополитена односводчатой конструкции.

Вы являетесь пионерами в разработке и внедрении инновационных технических решений, таких, как обжатые в породе обделки перегонных и станционных тоннелей, резко уменьшающие осадки земной поверхности, закрепление неустойчивых грунтов методом замораживания жидким азотом при проходке вертикальных, наклонных и горизонтальных выработок.

Разработанные вашими специалистами механизмы для возведения обделок и конструкций тоннелей, позволили метростроителям Санкт-Петербурга добиться высоких скоростей проходки перегонных тоннелей механизированными щитами, сооружать в условиях плотной городской застройки и сложных геологических условиях подземные выработки для станций метрополитена пролетом до 30 м.

По вашим проектам, помимо линий метрополитена в Санкт-Петербурге, построена первая линия Новосибирского метрополитена, а в горных районах нашей страны и за рубежом – более 40 железнодорожных, автодорожных, гидротехнических и коммунальных тоннелей общей протяженностью свыше 100 км.

В последние годы наши институты тесно сотрудничают при проектировании новых линий метрополитена, как в Москве, так и в Санкт-Петербурге, взаимобогащаясь накопленным нашими организациями опытом, в результате чего на практике осуществляются оригинальные, надежные и экономичные решения новых линий метро в наших городах.

В знаменательную дату образования института «Ленметрогиипротранс» желаем вам дальнейших творческих поисков и успехов на пути научно-технического прогресса отечественного метротоннелестроения.

От имени коллектива АО «Метрогиипротранс»,

*Председатель совета директоров
В. М. Абрамсон*

*Президент
А. М. Земельман*



СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА



Д. А. Бойцов,
кандидат архитектуры,
начальник архитектурно-
строительного отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



О. В. Евстифеева,
к. т. н., главный
специалист архитектурно-
строительного отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

В условиях современных высоких темпов проектирования и строительства объектов метрополитена, обусловленных активным освоением подземного пространства в Санкт-Петербурге и Москве, происходит развитие и модернизация системы проектирования, в том числе и в части архитектурных, объемно-планировочных и конструктивных решений. Разрабатывается но-

вая система проектных решений, способных трансформироваться и адаптироваться к любым условиям. Например, в конструктивных решениях данная концепция актуальна в связи с возможной заменой в процессе строительства технологии возведения подземных сооружений, и, соответственно, рассчитанная на определенные условия конструкция должна быть оперативно модернизирована при максимальном сохранении своих первоначальных параметров. В архитектурных и объемно-планировочных решениях также существует множество примеров,

когда спроектированное определенным образом пространство или группа помещений претерпевают серьезные изменения в связи с получением новых вводных в процессе реализации объекта или изменениями норм. Происходит это в ряде случаев в связи с изменением инженерных систем или заменой оборудования (в том числе и крупногабаритного эскалаторного), а иногда и появле-

нием нового оборудования, требующего специальных зон и пространств внутри объектов метрополитена.

Поэтому наиболее характерным примером современных проектных решений является модернизируемая система, имеющая ряд резервных вариаций, позволяющих в рамках принятой концепции учитывать новые условия. Одним из наиболее актуальных путей развития, сформулированных проектировщиками ОАО «ЛМГТ», является проектирование объектов метрополитена по принципу «крупноблочной сборки», при котором каждый из объектов (станционный комплекс, вестибюль, притоннельное сооружение) может быть скомпонован из монофункциональных блоков – обособленных сооружений или частей сооружений. Данная концепция отрабатывается в настоящее время на станциях мелкого заложения, проектируемых для участков двухпутного тоннеля метрополитена в Москве, пересадочных станций мелкого заложения и для подземных многоуровневых вестибюлей в Санкт-Петербурге. Идея создания транспортных объектов метрополитена на основе компоновки из монофункциональных блоков (блок платформенный, блок вестибюльный, технологические блоки и т. д.) позволяет проектировать и строить, беря за основу разработанные оптимальные элементы

Рис. 1. Станция в двухпутном тоннеле. Интерьер с применением звукопоглощающих конструкций в облицовке сводов пассажирских платформ

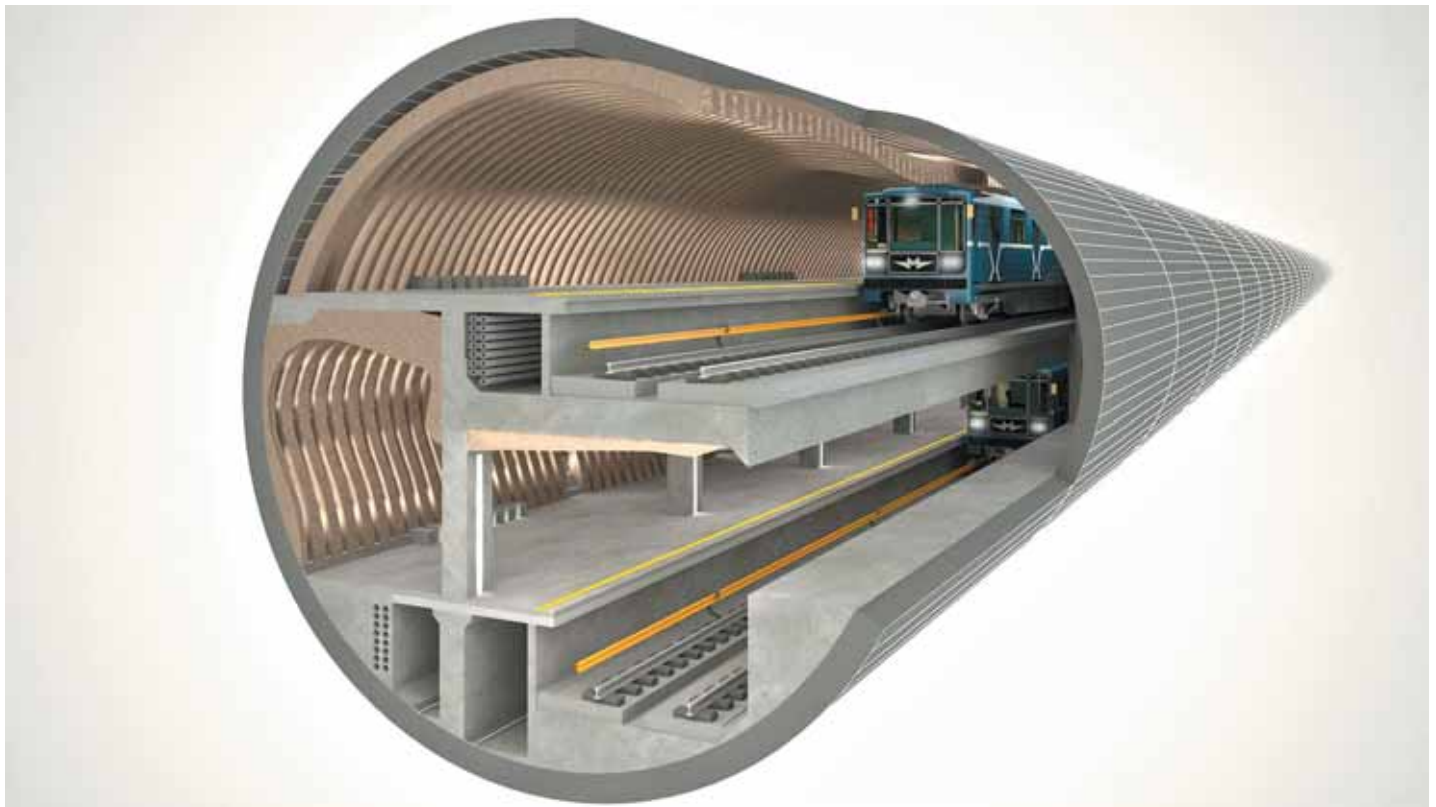




Рис. 2. Станция в двухпутном тоннеле. Интерьер с применением светопрозрачных и светопроводящих облицовочных материалов

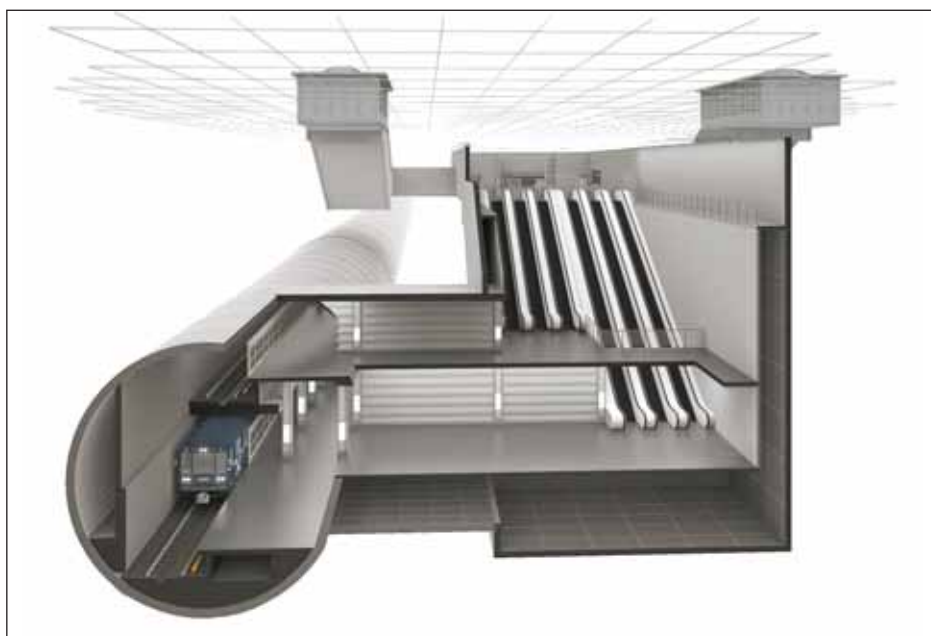
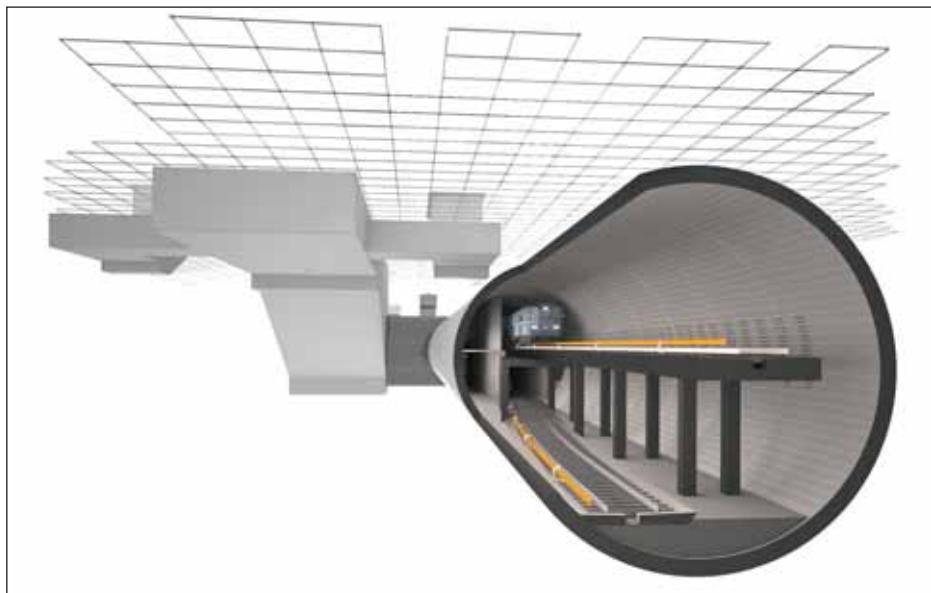


Рис. 3, 4. Станция в двухпутном тоннеле, совмещенная с блоком вестибюльных сооружений, включающих эскалаторные спуски



станционного комплекса. Блочное проектирование в настоящее время благодаря новым технологиям и новым техническим возможностям освоения подземных пространств, переходит на новый востребованный и актуальный этап развития.

Среди современных проектных решений, активно разрабатываемых проектными отделами института, особого внимания заслуживают станции мелкого заложения на участках двухпутного тоннеля, станции внутри двухпутного тоннеля, а также новые сооружения, обеспечивающие спуск пассажиров с уровня земли на станции глубокого заложения.

Станции в двухпутном тоннеле проектируются в ОАО «ЛМГТ» с начала 2000-х гг. Аналогичная идея в настоящее время реализована в метрополитене Барселоны и имеет ряд технических и эксплуатационных преимуществ. Применение в Санкт-Петербурге данной концепции на определенных участках позволит достичь экономического преимущества и обеспечить еще более активное освоение подземного пространства в нашем городе (рис. 1 и 2). Отличительной особенностью петербургского проектного решения является принципиально новая конструктивная схема двухэтажной станции, разработанная с учетом российских норм и условий эксплуатации метрополитена.

Проектное решение, основанное на расположении платформ внутри единого тоннеля, разрабатывается в совокупности с новейшими технологиями подъемно-транспортного оборудования, обеспечивающего доступ пассажиров с уровня земли на станцию глубокого заложения. Так, например, разработан ряд технических решений, не имеющих аналогов в мире. Среди них система многоэтажных лифтов, позволяющих перевозить в заданное время требуемый пассажиропоток (рис. 3–6), а также уникальная система лифтового фуникулера, обеспечивающая непрерывное последовательное движение лифтовых кабин в двух параллельно расположенных шахтах.

К реализуемым проектным решениям, заслуживающим особого внимания, можно отнести станции мелкого заложения, разрабатываемые для участков двухпутного тоннеля. Архитектурно-строительным отделом института запроектированы объемно-планировочные и конструктивные решения по ряду станций мелкого заложения с боковым размещением платформ для линий с двухпутными тоннелями, возводимых методом «top-down». На данный момент три из этих станций находятся на этапе возведения: «Дунайский проспект» на Фрунзенском радиусе, «Новокрестовская» и «Улица Савушкина» на Невско-Василеостровской линии. Применение технологии «top-down» позволяет избежать установки громоздких расстрелов при производстве работ и их перестановок при устройстве перекрытий. Глубина заложения подобных станций определяется минимальной глубиной заложения обделки



Рис. 5, 6. Станция в двухпутном тоннеле, совмещенная с блоком вестибюльных сооружений, включающих лифтовые спуски с трехуровневыми лифтами

двухпутного тоннеля закрытого способа работ, подходящего к станции, и составляет порядка 20 м, хотя может быть практически любой. Основной объем станционного комплекса представляет собой трехуровневую монолитную железобетонную раму. В качестве несущих колонн используются буронабивные сваи, выполняемые в неизвлекаемой стальной трубе. Кроме того, за счет камуфлетного уширения конца свай, они учитываются в расчете на возможное всплытие сооружения в обводненных грунтах. Станция сооружается в котловане с ограждением «стена в грунте». Использование свай в качестве основных постоянных колонн на станции позволило значительно сократить сроки строительства. Покрытие станции «подвешивается» на «стену в грунте» (рис. 7) и сваи-колонны (рис. 8).

Рис. 7. Опираие балок покрытия на «стену в грунте»



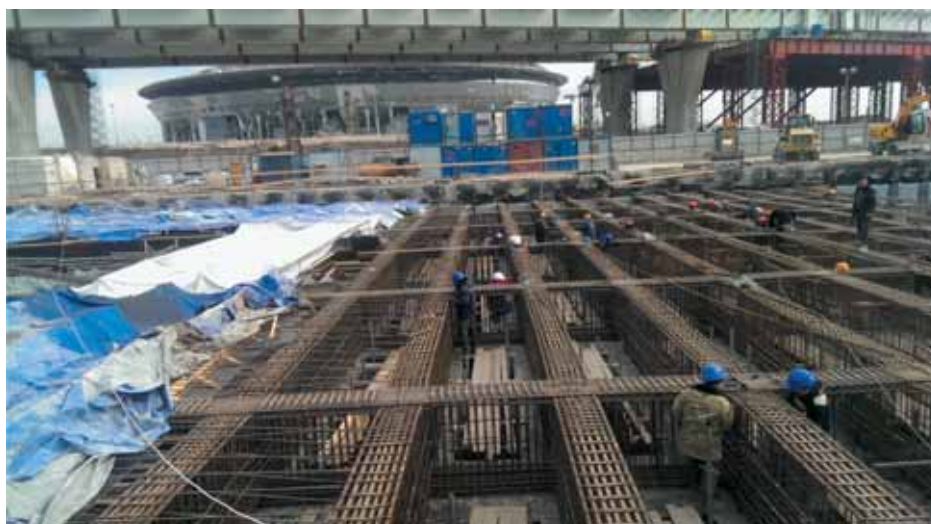


Рис. 8. В пролете покрытие опирается на два ряда свай-колонн



Рис. 9. Отрывка грунта под перекрытие второго яруса ст. «Новокрестовская»



Рис. 10. Возведение перекрытия второго яруса ст. «Новокрестовская»

Затем под защитой покрытия разрабатывается грунт, подаваемый на поверхность через монтажные проемы. Грунт откапывается на высоту следующего яруса, затем возводится плита перекрытия (рис. 9 и 10). Параллельно ведутся работы по уст-

ройству гидроизоляции стен. Следом бетонируются стены, расположенные между перекрытием и покрытием, разрабатывается очередной ярус. Проектом предполагалось, что отрывка котлована и возведение конструкций будут осуществляться

после прохода тоннельного щита через станцию. Но из-за напряженных графиков производства работ проходка щита через станцию «Дунайский проспект» осуществлялась под уже выполненным покрытием и перекрытием первого яруса. Участок двухпутного тоннеля в пределах станции, отсеченный «стеной в грунте», демонтируется одновременно с сооружением перекрытия второго яруса. На ст. «Новокрестовская», где сроки строительства оказались еще более сжатыми, было решено пропустить щит по днищу (лотку) станции с укладкой лишь нижних полутора колец обделки по лотку станции, при этом конструкция лотка была срочно переделана под новые требования (в виде «ложа»). В станционных комплексах «Дунайский проспект» и «Улица Савушкина» лестничные и траволаторные спуски проектом были вынесены за пределы основного объема станции и выполняются в виде самостоятельных блоков. На станционном комплексе «Новокрестовская», благодаря новаторским объемно-планировочным решениям, всё подъемно-транспортное оборудование размещено внутри основного объема станции. Это привело к образованию многочисленных обширных нерегулярно расположенных отверстий в дисках перекрытий и потребовало принятия нестандартных конструктивных решений для восприятия бокового распора от наружных стен. При добетонировании демонтажных и технологических проемов в перекрытиях для соединения арматурных выпусков применены соединения из высокопрочных муфт.

При строительстве перегонных тоннелей в монолитном исполнении в пределах демонтажных камер были применены комбинированные обделки – часть блоков сборной обделки в лотковой части не разбиралась, а замыкалась на монолитные стены монолитной обделки, тем самым достигалась экономия времени и материальных ресурсов.

Современные проектные решения, реализуемые при строительстве станций малого заложения, разработаны во всех разделах, включая инженерные и архитектурно-художественные решения. Так, например, в настоящее время разрабатывается проект устройства платформенной перегородки с автоматическими раздвижными дверями для станций «Улица Савушкина» и «Новокрестовская». Конструкции витражных перегородок интегрированы в интерьеры платформенного участка и являются частью архитектурной композиции строящихся станций. Многие архитектурные решения, внедряемые в современные проекты, основаны на применении передовых технологий: в архитектурном освещении используются светодиодные светильники новых форм и типов, а в облицовке – композитные и многокомпонентные материалы, обладающие эстетической выразительностью, надежностью и долговечностью.



Станция «Чёрная речка»



Станция «Технологический институт»

Дорогие коллеги и друзья!

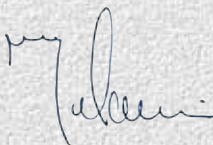
От имени компании «Херренкнехт АГ» хотел бы поздравить вас с замечательным праздником – 70-летним юбилеем!

ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» по праву является одной из ведущих проектных организаций России и зарекомендовало себя надежным партнером.

Рад отметить, что компанию «Херренкнехт АГ» и ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» на протяжении многих лет связывает плодотворное и конструктивное сотрудничество. Мы гордимся тем, что крупные и важные для страны инфраструктурно-транспортные объекты, сооруженные при помощи проходческого оборудования «Херренкнехт АГ», были разработаны и спроектированы именно вашей организацией. Вместе мы работали над сооружением транспортных и железнодорожных тоннелей в Сочи, прокладкой наклонных эскалаторных тоннелей в центре Санкт-Петербурга и другими крупными объектами. Сотрудничая с ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», мы всегда находим поддержку и понимание. Специалисты вашего проектного института демонстрируют глубокие профессиональные знания и высокую квалификацию в разработке проектной документации и рекомендаций по использованию современных строительных материалов для быстрого и безопасного возведения объектов.

Примите еще раз мои сердечные поздравления с юбилеем и пожелания дальнейшего благополучия и процветания ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс».

С наилучшими пожеланиями,



*И. о. генерального директора
ООО «Херренкнехт тоннельсервис»
Йоханнис Хеннинг Петер*



ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА PLAXIS 3D ОТДЕЛОМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТОННЕЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ



С. В. Рябков,
начальник
конструкторского отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Р. А. Соловьев,
руководитель группы
конструкторского отдела
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

За 70 лет отделом проектирования тоннельных строительных конструкций разработаны практически все несущие конструкции, которые были использованы при строительстве тоннелей и метрополитенов, запроектированных ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс».

Коллективом отдела созданы станции и перегонные тоннели из сборных железобетонных элементов, внедренные в метрополитене Санкт-Петербурга (Ленинграда) и других городах. Колонная станция из железобетонных элементов, пилонная станция с балочными перемычками из стальных элементов, станция без боковых посадочных платформ, односводчатая и двухэтажная станции, обделка перегонных тоннелей, обжатая в породу, высокоточная водонепроницаемая обделка, обделка автодорожного тоннеля из наплавных секций под морским каналом, монолитные железобетонные обделки автодорожных и железнодорожных тоннелей и много других конструкций было разработано специалистами отдела.

Конструкторский отдел, как и все предыдущие годы, активно занимается проектированием объектов метрополитена Санкт-Петербурга и Москвы, а также проектированием транспортных тоннелей. Выполняются работы по разработке документации, как на стадии «Проект», так и на стадии «Рабочая документация».

В последние годы отделом выполнялись работы по проектированию участков: Лахтинско-Правобережной линии, Фрунзенского радиуса, Невско-Василеостровской, Красносельско-Калининской линий Санкт-Петербургского метрополитена, Калинин-

ско-Солнцевской, Кожуховской линий, участка Третьего пересадочного контура Московского метрополитена, нового Байкальского тоннеля.

В последнее время специалистами отдела активно используются различные программные комплексы по 3D моделированию. Особенно часто используется программный комплекс PLAXIS 3D, который предназначен для трехмерных расчетов деформаций и устойчивости пространственных строительных объектов совместно с грунтовым основанием.

С помощью программного комплекса PLAXIS 3D могут быть решены сложные геотехнические задачи, связанные с проектированием транспортных сооружений:

- расчет осадки земной поверхности;
- оценка совместной работы грунта и подземных сооружений;
- оценка совместной работы существующих и вновь сооружаемых подземных сооружений;
- проходка транспортных тоннелей под искусственными сооружениями (насыпями или опорами путепроводов).

Существующих нормативных документов, регламентирующих и описывающих применение данных программных комплексов, которые бы могли помочь специалисту избежать ошибок и недочетов при решении комплексных геотехнических задач, часто бывает недостаточно. В связи со спецификой работы, институт «Ленметрогипротранс» имеет богатый опыт проектирования подземных сооружений. Нашим институтом были собраны и обобщены данные по деформации поверхности при строительстве подземных сооружений, а также соотношении фактических и расчетных усилий в обделках построенных тоннелей. Данный опыт позволяет инженерам ЛМГТ совершенствовать методы расчета, с помощью которых есть возможность проектировать более экономичные конструкции, повышать точность оценки влияния вновь возводимых подземных сооружений на существующие объекты.

Мы бы хотели поделиться с вами наиболее характерными примерами расчетов, выполненных нашим отделом в программном комплексе Plaxis за последнее время, а также



Таблица 1

глина-металл	песок-металл	глина-бетон	песок-бетон	грунт-геотекстиль	грунт-георешетка
≈ 0,5	≈ 0,6–0,7	≈ 0,7–1,0	≈ 0,8–1,0	≈ 0,5–0,9	≈ 1,0

Таблица 10.1

Материал стены	Технология устройства и особые условия	γ_k
Бетон, железобетон	Монолитные гравитационные стены и гибкие стены, бетонируемые насухо	0,67
	Монолитные гибкие стены, бетонируемые под глинистым раствором в грунтах естественной влажности. Сборные гравитационные стены	0,5
	Монолитные гибкие стены, бетонируемые под глинистым раствором в водонасыщенных грунтах. Сборные гибкие стены, устраиваемые под глинистым раствором в любых грунтах	0,33
Металл	В мелких и пылеватых водонасыщенных песках	0
Дерево	В прочих грунтах	0,33
Любой	При наличии вибрационных нагрузок на основание	0

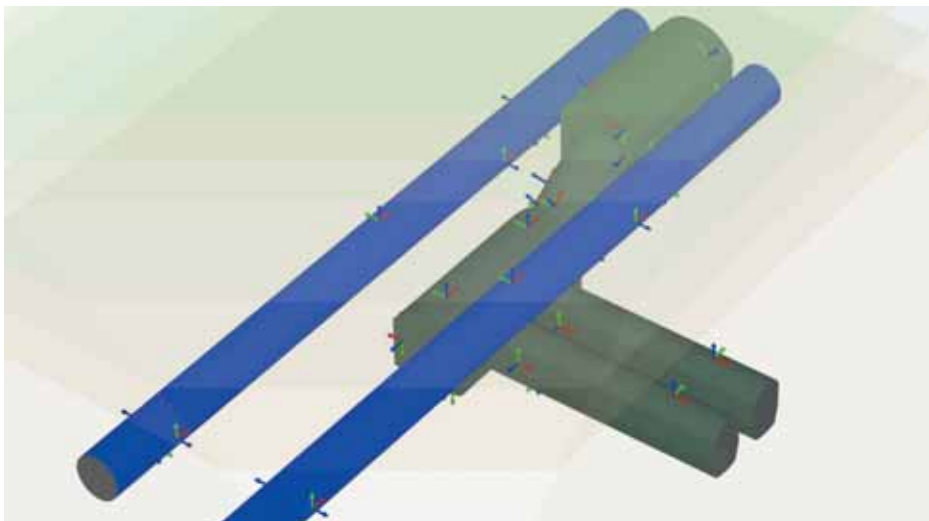
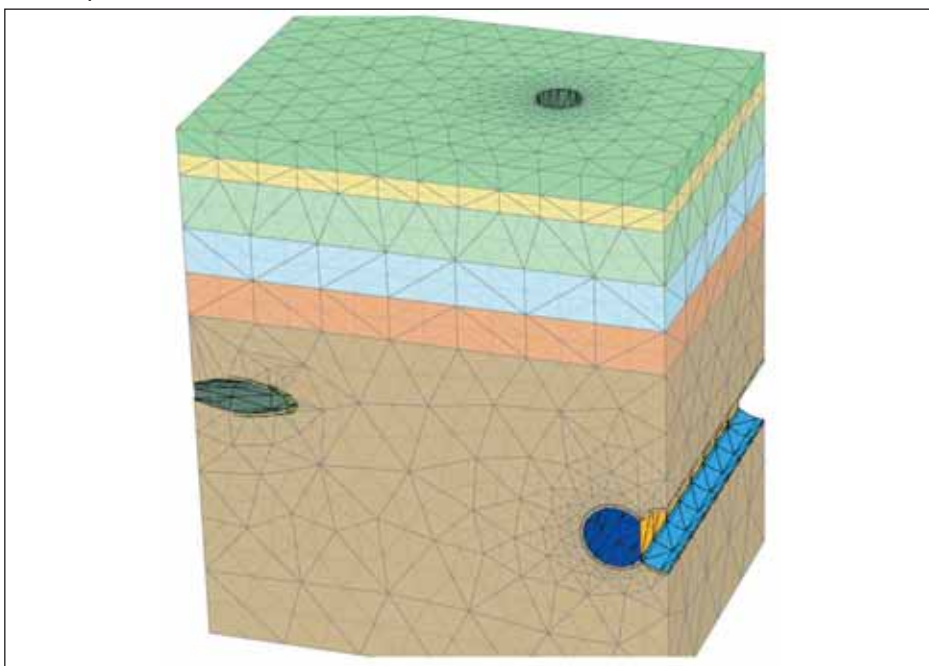


Рис. 1. Пересадка со ст. «Кировский завод» на ст. «Путиловская». Расчетная схема

Рис. 2. Ст. «Путиловская». Расчетная схема вновь возводимой станции и существующей конструкции вентиляционного ствола



привести свои размышления по нескольким наиболее часто возникающим вопросам.

Наиболее распространённые трудности при создании расчетной схемы возникают на следующих этапах.

1. Задание границ расчетной области.
2. Задание величины интерфейсов.
3. Выбор модели грунта.
4. Определение размера сетки конечных элементов.

В настоящей статье предложены решения двух первых проблем.

Первостепенная задача, которая встает перед проектировщиком – это назначение границ расчетной области. Она в значительной степени зависит от типа сооружения и задач, которые решаются в данном расчете. Общее правило задания границ: границы расчетной области не должны влиять на результаты расчета. Здесь можно выделить следующие основные задачи: расчеты с целью определения несущей способности обделки и расчеты по определению осадок.

В первом случае требуется определить усилия в конструкциях, следовательно, необходимо ограничить грунтовой массив таким образом, чтобы границы не влияли значительным образом на усилия в обделке. Заранее определим допустимую погрешность. Допустим погрешность – 5 %. В данном случае предварительный размер расчетной области можно задать из расчета зоны влияния выработки [1, формула 1.130]:

$$R_{\Delta} = r_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1 - 6 \cdot (1 - \lambda) \cdot \Delta \cdot \cos 2\theta}}{2 \cdot \Delta}},$$

где $\Delta = 0,05$ – допустимая погрешность;

$\lambda = 0,35$ – коэффициент Пуассона;

θ – угол поворота;

r_0 – радиус выработки.

При $\theta = 0$ $R_{0,05} = 4,35 \cdot r_0$.

При $\theta = 90$ $R_{0,05} = 4,57 \cdot r_0$.

Получаем предварительно расстояние, равное двум диаметрам тоннеля в каждую сторону от края обделки.

При динамическом расчете границы необходимо моделировать таким образом, чтобы предотвратить отражение волн от границ расчетной области [2, п. 7.4, 7.5].

Перед проектировщиками часто встают задачи, когда требуется определить осадки от строящегося подземного сооружения. Эти задачи, в целом, сложнее, т. к. необходимо учесть проходку тоннеля, осадки со стороны лба забоя. Полученные данные надо сопоставить с опытными данными и т. д. Для определения ширины расчетной области можно воспользоваться п. 6.3.6. СП Метрополитены или таблицей Е1 СТО «Оценка влияния от коммуникационных тоннелей». Нижнюю границу под тоннелем можно предварительно принять равной глубине сжимаемой толщи [3, п. 4.9] по СНиП «Основания и Фундаменты», либо посредством сравнения с данными наблюдений деформации поверхности при сооружении аналогичных конструкций. Если задать зону грунта под тоннелем неоправданно большой, можно получить ошибочные результаты. Это связано с тем, что модуль деформации грунтов растет с глубиной, и модуль деформации при разгрузке, как правило, выше модуля деформации при первичном нагружении. Эти два параметра учитываются только в «продвинутых» моделях грунтов. Поэтому ошибка задания чрезмерно большой расчетной области приводит к поднятию грунта над тоннелем в случае расчета подземных сооружений и к завышенным осадкам фундаментов при расчете зданий.

Существенное значение имеет и правильное задание величины интерфейсов.

Интерфейс – это поверхность между грунтом и сооружением, которая моделирует уменьшение силы трения и сцепления.

Для тоннелей нет фиксированных значений интерфейсов. Они будут различаться в зависимости от способа производства работ. Например, при буровзрывном способе поверхность грунта неровная, за счет этого касательные напряжения будут передаваться с грунта на обделку в полной мере. Похожий эффект будет наблюдаться при нанесении набрызг-бетона. В случае применения тиксотропных растворов при строительстве стволов между обделкой и грунтом необходимо моделировать область с пониженными физико-механическими характеристиками. В общем случае прочность контакта между обделкой и грунтом должна определяться в лаборатории или натурными измерениями. Если таких данных нет, можно воспользоваться значениями интерфейсов из справочной литературы.

1. Пособие по программе Plaxis.

Ориентировочные значения Rint (коэффициент, понижающий тангенс угла

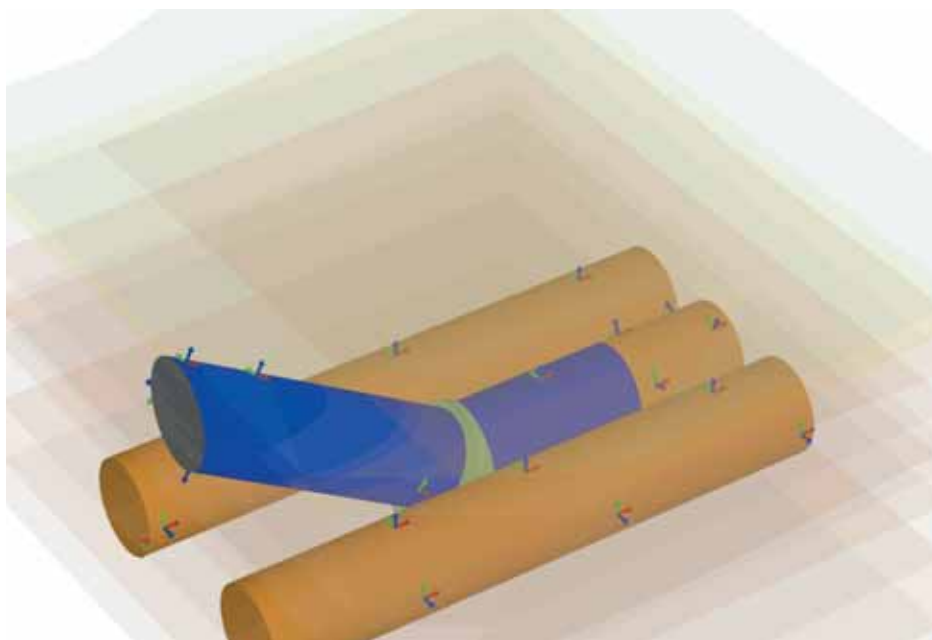


Рис. 3. Пересадка на существующую станцию «Электрозаводская». Расчетная схема веерного участка, наклонного хода, натяжной камеры, существующих конструкций боковых тоннелей станции

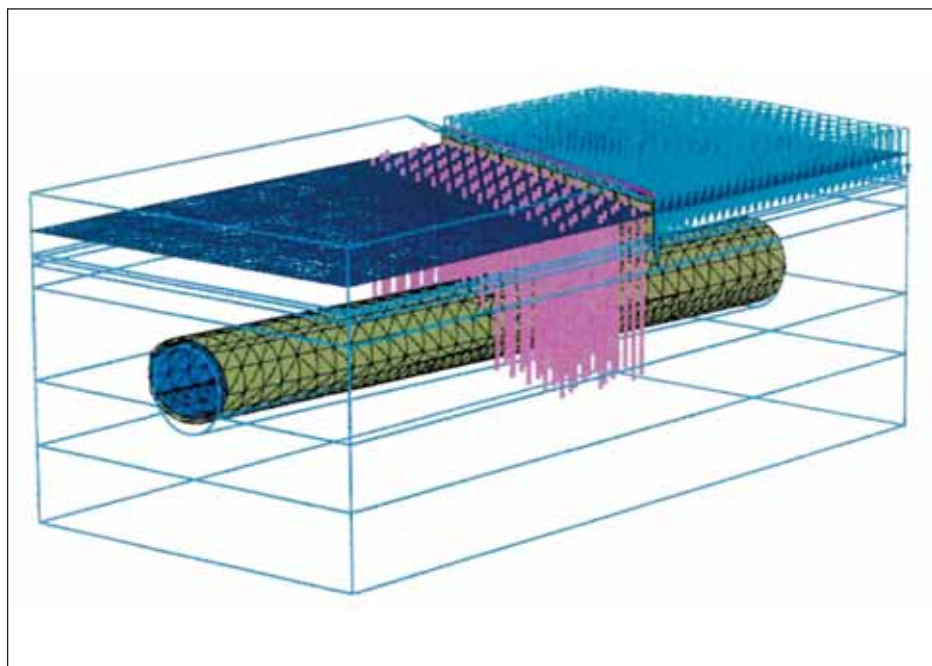


Рис. 4. Расчетная схема перегонного двухпутного тоннеля, при пересечении водной преграды и намывной территории с грунтощебеночными сваями

внутреннего трения и сцепления на контакте между грунтом и конструкцией) (табл. 1).

2. МГСН 2.07.01, Таблица 10.1, п. 10.7.

При отсутствии экспериментальных исследований в расчетах по первой и второй группам предельных состояний допускается принимать следующие расчетные значения прочностных характеристик на контакте стена – грунтовый массив:

- удельное сцепление $c_k = 0$;
- угол трения грунта по материалу стены $\varphi_k = \gamma_k \varphi$, где φ – угол внутреннего трения грунта, γ_k – коэффициент условий работы, принимаемый по таблице 10.1.

На рис. 1–4 приведены 3-мерные модели подземных сооружений, по которым выпол-

нены расчеты в программном комплексе PLAXIS 3D.

По результатам расчета были определены границы усиления перегонных тоннелей и ствола.

Список литературы

1. Н. С. Бульчев *Механика подземных сооружений в примерах и задачах*. – М.: Недра, 1989г, с. 45–46.
2. *Plaxis 3D 2010 Научное руководство*. – с. 52–53.
3. А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров *Компьютерные модели конструкций*. – Киев: «Факт» 2005 г, с. 157–160.
4. МГСН 2.07-01 *Основания, фундаменты и подземные сооружения*.

Уважаемый Владимир Александрович!

Руководство и трудовой коллектив проектно-изыскательского института «Бамтоннельпроект» сердечно поздравляет Вас и всех специалистов ОАО «Ленметрогипротранс» с юбилеем – 70-летием со дня основания института!

Это значимая дата, символизирующая стабильность и благополучие.

Ваш институт является одной из крупнейших проектных организаций России, получившей широкую известность и за рубежом. Предприятие с богатейшей историей, берущее начало от небольшого ленинградского филиала «Метротранс», созданного в первые послевоенные годы.

За 70 лет «Ленметрогипротранс» прошел большой и славный путь. На счету института множество блестяще реализованных проектов, которыми можно по праву гордиться.

Среди них сложнейшие тоннели БАМа и олимпийские объекты Сочи, линии метрополитена в Санкт-Петербурге, Казани, Минске.

На всех этапах своей деятельности ОАО «Ленметрогипротранс» являлся примером эффективного внедрения новых технологий и слаженной работы всего коллектива.

Высокий уровень знаний и профессионализм специалистов, обновление материально-технической базы, внедрение инновационных технологий в области строительства метрополитенов, железнодорожных тоннелей и объектов их инфраструктуры позволили институту стать одной из самых авторитетных проектных организаций России. Главный секрет конкурентоспособности и востребованности компании – это большая сплоченная команда единомышленников, с большой самоотдачей выполняющая общее дело. Профессиональные успехи института являются результатом высокой ответственности, образцового качества и честной конкурентной борьбы.

ООО ПИИ «Бамтоннельпроект» и ОАО «Ленметрогипротранс» связывает особая история, которая началась в первые годы строительства БАМа. В 1977 г. в Северобайкальске из ведущих специалистов института был образован филиал, который и получил название «Бамтоннельпроект». В дальнейшем «Бамтоннельпроект» стал самостоятельной организацией, но до сих пор чтит и бережно хранит заложенные традиции – высокий профессионализм, ответственность и преданность своему делу.

От всего сердца желаем Вам и Вашим коллегам крепкого здоровья, плодотворной созидательной работы, новых творческих и трудовых успехов и праздничного настроения. Уверен, что мы продолжим наше сотрудничество и сохраним теплые, дружеские отношения.

С уважением,

*Генеральный директор
ООО ПИИ «Бамтоннельпроект»
А. В. Яковлев*



МЕТРОПОЛИТЕН САНКТ-ПЕТЕРБУРГА. ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА



В. А. Марков,
заместитель
генерального директора
по проектированию
метрополитенов
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



И. В. Ильин,
начальник
отдела проектирования
организации и механи-
зации строительных
работ ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



В. М. Ключанов,
главный специалист
отдела проектирования
организации и механи-
зации строительных
работ ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Г. А. Казакова,
руководитель группы
отдела проектирования
организации и механи-
зации строительных
работ ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

Жизненный цикл проектной документации при проектировании метрополитена растянут на годы, между началом проектирования и реализацией проекта проходит значительное время. Не всегда удаётся начать строительство в срок, предусмотренный проектной документацией, и, как следствие, срок окончания строительства не уст-

раивает заказчика. А если объект является значимым не только для города, то проектировщикам и строителям приходится прилагать все усилия для сдачи объекта в директивные сроки, которые, как правило, сильно сокращены, относительно заложенных проектом.

Один из наглядных примеров описанной выше ситуации – строительство станции метро

Рис. 1. Общий вид строительной площадки станции метро «Новокрестовская»



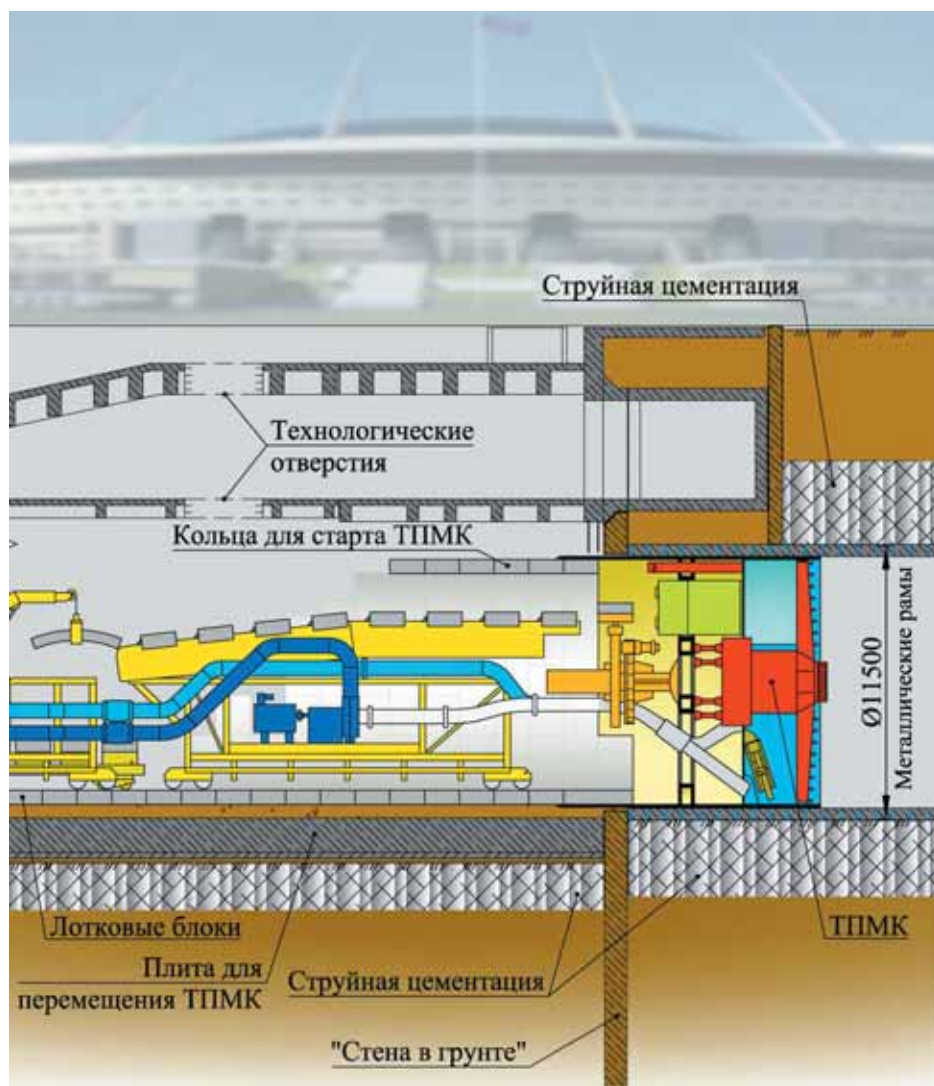


Рис. 2. Схема вывода ТПМК на трассу перегонного тоннеля

«Новокрестовская» Невско-Василеостровской линии в Санкт-Петербурге. Станция располагается на Крестовском острове и предусматривается для доступа болельщиков к мультимедийной арене мирового уровня, известной как «Зенит-Арена», при проведении игр Чемпионата мира по футболу 2018 г.

Строительство основных конструкций станции «Новокрестовская» планировалось осуществлять после сквозного прохода двухпутного тоннеля через «тело» будущей станции. Далее предусматривалось сооружение станции способом «Top-Down» («Топ-Даун») с поэтапным бетонированием перекрытий постоянных конструкций сверху вниз.

По разным причинам реализация проекта началась с задержкой. При строительстве линии проходка двухпутного тоннеля отставала от графика. Во избежание срыва сроков реализации проекта было принято решение о возведении основных конструкций станции до прихода тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК).

Основной проблемой при решении данной задачи было обеспечение несущей

способности ограждающей конструкции котлована для сооружения станции, выполненной методом «стена в грунте». Дело в том, что «стена в грунте» была запроектирована и построена с учётом изначально предполагаемой схемы сооружения станции. Новая схема неминуемо влекла за собой перераспределение нагрузок и увеличение усилий, действующих на ограждающие конструкции. Кроме того возникла необходимость изменения постоянных конструкций станции с целью обеспечения возможности перемещения ТПМК по забетонированной плите основания.

В связи с тем, что генподрядчик незамедлительно приступил к работам по выемке грунта котлована для сооружения станции, новые расчёты, а также корректировка выпущенных комплектов рабочих чертежей осуществлялась в крайне сжатые сроки. В оперативном порядке был принят ряд технических решений, позволяющих производить работы по возведению станции без технологических простоев при обеспечении несущей способности ограждающих конструкций и безопасности производства работ.

Кроме того, после перемещения ТПМК в «теле» станции возникает необходимость

осуществления комплекса работ по выводу ТПМК на трассу перегонного тоннеля для дальнейшей проходки. Необходимо смонтировать массивную металлическую конструкцию, способную выдержать давление домкратов ТПМК при врезке в бетонную «стену в грунте» в торце станции, забетонировать временную железобетонную стену, а также смонтировать металлические кольца диаметром более 11 м. При сооружении станции способом «Top-Down» осуществление данных работ представлялось крайне трудоёмким в связи с малым размером технологических отверстий в забетонированных плитах перекрытий. Во избежание необходимости выполнения описанных выше работ было принято решение о разработке участка перегонного тоннеля на выходе ТПМК горным способом с креплением металлическими рамами и заполнением межрамного пространства бетоном. Данное решение позволит смонтировать несколько колец обделки в уже разработанном массиве, зафиксировать их и выполнить врезку ТПМК при опирании домкратов в установленные кольца.

Необходимо отметить, что грунтовый массив, в котором располагается перегонный тоннель, сложен из неустойчивых обводнённых грунтов. В данных геологических условиях разработка грунта горным способом невозможна без применения специальных способов закрепления грунтов. Проектом организации строительства предусмотрено закрепление грунтового массива по технологии струйной цементации.

Несмотря на применение дорогостоящей технологии закрепления грунтов, увеличение сечения плиты основания конструкции станции и другие решения, принятые в ходе изменения рабочей документации, удалось не только запроектировать новый способ сооружения, но и удержать общую стоимость сооружения станционного комплекса в рамках предусмотренного финансирования.

Это всего лишь один из примеров необходимости оперативного принятия технических решений в ходе строительства. Внешние факторы, которые невозможно предугадать заранее, в той или иной мере вносят свои коррективы в проект организации строительства на каждом объекте. Сокращение сроков строительства, сложности с выносом сетей на строительных площадках, уточнение инженерно-геологических условий на стадии сооружения объекта, изменение норм проектирования – это лишь немногие из факторов, усложняющих работу проектировщиков и строителей. Но, не смотря на все сложности, выход можно найти из любой ситуации. При своевременных грамотных технических решениях проектировщиков и слаженной работе опытного коллектива строителей сооружение новых объектов подземной инфраструктуры Санкт-Петербурга должно выполняться качественно в установленные сроки.

КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ В ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА



В. А. Марков,
заместитель
генерального директора
по проектированию
метрополитенов
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



И. В. Ильин,
начальник отдела
проектирования орга-
низации и механизации
строительных работ
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Л. М. Барсуков,
руководитель группы
специальных способов
работ ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Д. Ю. Артюхов,
инженер группы
специальных способов
работ ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



М. С. Светикова,
инженер группы
специальных способов
работ ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

Строительство подземных объектов Санкт-Петербурга осуществляется в очень сложных инженерно-геологических условиях. Для обеспечения безопасности проходческих работ в неустойчивых водоносных грунтах требуется создание надежного противофильтрационного и прочностного ограждения.

Все большее применение в практике строительства находят как новые, так и комбинированные технологии закрепления грунтов.

Технология комбинированного закрепления грунтов (струйная цементация и рассольное замораживание) впервые была успешно применена при строительстве эскалаторного тоннеля станции «Звенигород-

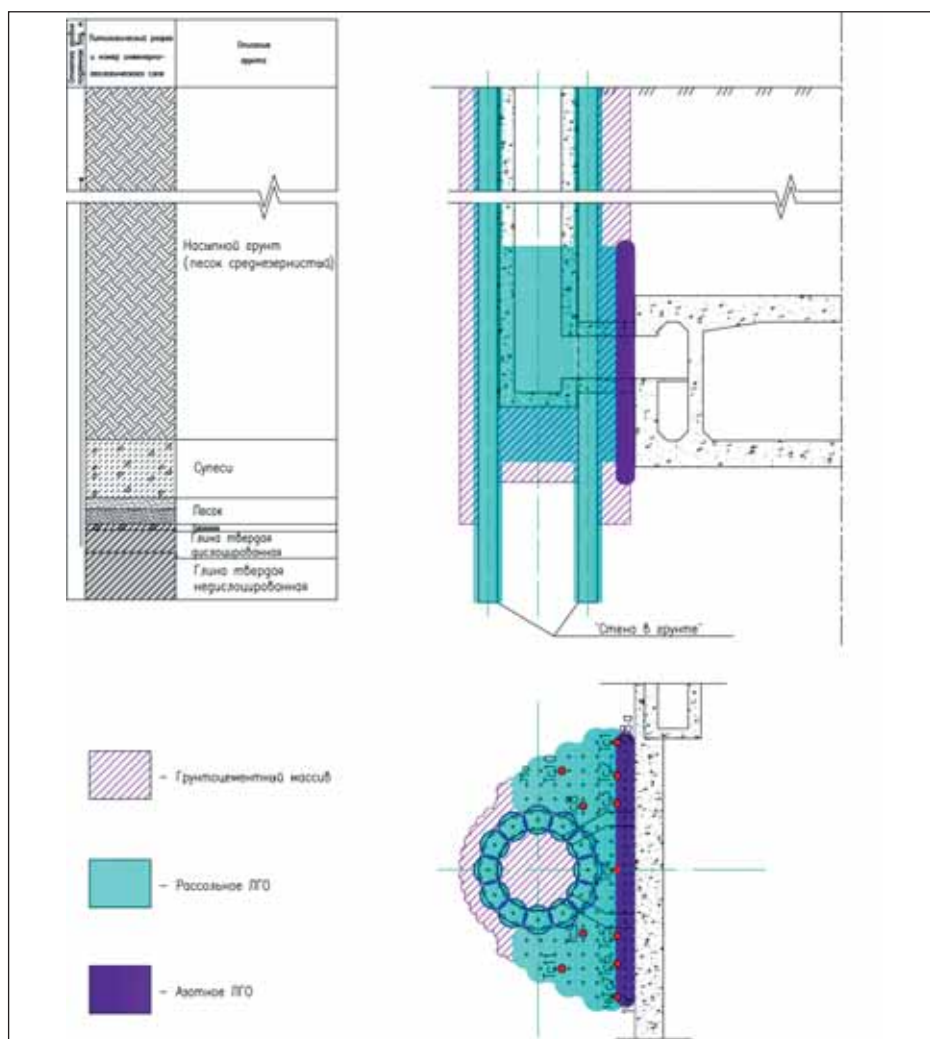


Рис. 1. Схема закрепления грунтов



Рис. 2. Азотное замораживание грунтоцементного массива



Рис. 4. Проходка шахтного ствола

ская» Петербургского метрополитена в 2006–2008 гг. [1, 2, 3].

Уникальная работа была реализована в 2010–2011 гг. на завершающем этапе строительства защитных сооружений Санкт-Петербурга, более известных как «Дамба» [3]. Вблизи форта «Константин» необходимо было соорудить две вертикальные шахты дымоудаления ДУ-1 и ДУ-2 и горизонтальные ходки от них к ранее построенному подземному автодорожному тоннелю судопропускной системы, без чего весь объект не мог быть сдан в эксплуатацию. В дальнейшем над шахтами дымоудаления необходимо было построить вентиляционные здания на ленточном фундаменте. К строительству был привлечен Петербургский метрострой, а проектирование осуществляло ОАО «Ленметрогипротранс». Следует отметить факторы, затрудняющие работу:

- зона проходческих работ находилась ниже уровня Финского залива;
- наружная обделка автодорожного тоннеля покрыта специальной гидроизоляцией, целостность которой нельзя нарушить;
- процесс бурения цементационных и замораживающих скважин около тоннеля затруднен отходами его строительства, захороненными в грунте.

Для обеспечения безопасности проведения горнопроходческих работ, с целью избежания повреждений гидроизоляции тоннеля и неравномерных осадок под фундаментом вентиляционного здания была применена комбинирован-

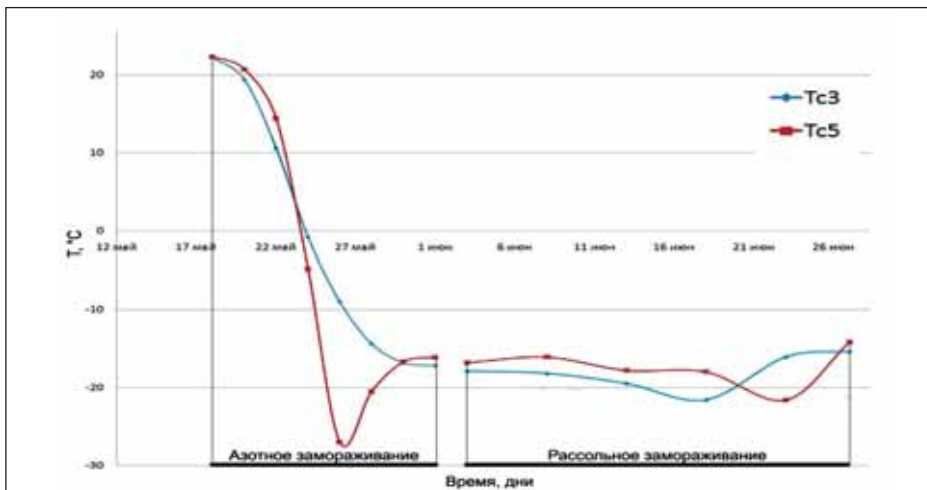


Рис. 3. График температур в термометрических скважинах Тс3 и Тс5

ная технология закрепления грунтов, включающая технологии струйной цементации, азотного и рассольного замораживаний грунтов.

Схема закрепления грунтов при строительстве каждой шахты дымоудаления представлена на схеме (рис. 1). На первом этапе грунтовый массив был закреплен струйной цементацией, а конструкция шахтного ствола сформирована «стеной в грунте» из бурящихся свай, в каждую вторую из которых, при этом, были смонтированы замораживающие колонки. В грунтоцементном массиве густой сеткой были забурены и обустроены 103 рабочих замораживающих скважины (1а...28а, 1р...75р) и 11 наблюдательных скважин (Тс1...Тс11).

Ближний к тоннелю ряд рабочих скважин (1а...28а) вначале был использован в качестве азотных, криогенный продукт позволил оперативно герметизировать сопряжение грунтоцементного массива с тоннелем, не оказывая на последний негативного воздействия (рис. 2). В дальнейшем все 103 замораживающие скважины (включая 1а...28а), а также колонки в бурящихся сваях шахтного ствола были подключены к системе рассольного замораживания грунтоцементного массива. Динамика изменения температур в ходе формирования ледо-грунтоцементного ограждения (ЛГО) приведена на графике (рис. 3). Представленный материал наглядно демонстрирует возможности азотной технологии значительно и быстро понижать температуру разогретого грунтоцементного массива, а рассольной технологии – поддерживать температуру стабильно низкой продолжительное время в условиях продолжающегося гидротационного выделения тепла.

Под защитой вышеописанных специальных способов успешно были осуществлены горнопроходческие работы по сооружению шахт дымоудаления и ходков, соединяющих их с подводным автодорожным тоннелем на Дамбе (рис. 4).

12 августа 2011 г. тоннель и вся Дамба была сдана в эксплуатацию.

При строительстве станции «Новокрестовская», расположенной около строящегося футбольного стадиона и приуроченной к Чемпионату мира по футболу 2018 г., также применена комбинированная технология закрепления

грунтов. Станция располагается на намывной территории на берегу Финского залива. Строительство станции выполняется в котловане под защитой ограждающей «стены в грунте» способом «топ-даун». В связи со значительной глубиной станции и сложными инженерно-геологическими условиями в проектной документации были предусмотрены следующие мероприятия. Для улучшения физико-механических свойств грунта основания под станционный комплекс, а также для создания дополнительного распора ограждающих конструкций при разработке котлована, было осуществлено закрепление массива грунта, расположенного ниже отметки дна котлована, по технологии струйной цементации. Грунтоцементное днище котлована станции толщиной 2 м сформировано на глубине 22,6–24,4 м. Общая площадь днища более 6500 м² и для его создания потребовалось 21592 грунтоцементных свай. Данное решение позволило перераспределить нагрузки на «стену в грунте» и решить проблему с её несущей способностью.

Проектированием технологических процессов закрепления грунтов в ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» занимается отдел организации и механизации строительных работ.

Список литературы

1. Марков В. А., Барсуков Л. М. Комбинированная технология закрепления грунтов при сооружении эскалаторных тоннелей станций Петербургского метрополитена. – «МетроИнвест» № 3 (22) 2006 г.
2. Безродный К. П., Маслак В. А., Марков В. А. и др. Комбинированная технология стабилизации грунтов при сооружении эскалаторных тоннелей станций Петербургского метрополитена. – «Метро и тоннели» № 5, 2009 г.
3. В. А. Маслак, В. А. Марков, Л. М. Барсуков, Д. Ю. Артюхов, А. В. Уханов. Комбинированная технология закрепления грунтов в подземном строительстве Санкт-Петербурга – Материалы конференции «Международная академия холода. VI Международная научно-техническая конференция. «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.).

Архитектурная концепция Калининско-Солнцевской линии
Московского метрополитена. Станция «Терешково»



ЛЕТИЕ
МЕТРОПОЛИТЕНА
В МОСКВЕ



Архитектурная концепция Третьего пересадочного контура
Московского метрополитена. Станция «Электrozаводская-2»

ЛЕТИЕ
МЕТРОПОЛИТЕНА
В МОСКВЕ

Уважаемые коллеги Ленметрогипротранса!



ОАО «Сибгипротранс» поздравляет Вас с 70-летним юбилеем! Искренне желаем вашей организации творческих успехов, достойного продолжения славной биографии, а вашим сотрудникам – крепкого здоровья и благополучия.

Совместная деятельность Сибгипротранса и Ленметрогипротранса продолжается более 40 лет. Объекты и сооружения, над которыми работали все эти годы, расположены на всей территории нашей страны, отличаются уникальностью и сложностью условий строительства, и по этой причине требуют творческого подхода в решении инженерных задач. Если выстроить в единую временную цепочку все совместно запроектированные объекты, прослеживается тенденция усложнения условий строительства и возрастающих требований заказчиков к качеству документации, что потребовало слаженной работы и взаимной ответственности.

Подтверждением сказанного является успешная работа по

следующим объектам:

- железнодорожные тоннели на линии БАМ;
- железнодорожные тоннели на вторых путях Северо-Кавказской железной дороги;
- железнодорожные и автодорожные тоннели на совмещенной дороге Адлер – «Альпика-Сервис».

За время совместной работы накоплен уникальный опыт проектирования железнодорожных тоннелей на вторых путях, в условиях действующих железных дорог без остановки движения. Это направление деятельности в настоящее время весьма актуально и надеемся будет востребовано на реконструируемых железнодорожных линиях.

Благодарим за успешную совместную работу и надежное партнерство.

По поручению коллектива

Генеральный директор ОАО «Сибгипротранс»

С. Э. Приц



РАЦИОНАЛЬНЫЙ ВЫБОР СХЕМЫ ТОННЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ КАК ЗАЛОГ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ



В. А. Соколов,
главный технолог
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»,
начальник теплосантех-
нического отдела ЛМГТ
с 1984 по 2013 г.

Все эти годы ОАО «НИПИ «Ленметрогипротранс» с успехом создает сложнейшие проекты, осваивает новейшие технологии проектирования. Благодаря труду и накопленному профессиональному опыту нескольких поколений специалистов, институт сегодня владеет передовыми технологиями в области тоннельной вентиляции. Какие изменения в подходах к выбору проектных решений нужно учитывать сегодня, когда строительство метро и тоннелей выходит на новые масштабы – этими вопросами хочется поделиться накануне юбилея нашего института.

Наиболее капиталоемкими в сооружении и эксплуатации являются участки автомобильных трасс, проходящие в тоннелях. Рациональный выбор вентиляционной системы является одним из факторов в снижении затрат на строительство тоннеля, так как объем горно-проходческих и строительно-монтажных работ, необходимый для сооружения вентиляционных устройств, может составлять до 20 % от общей стоимости строительства.

В современных проектах автодорожных тоннелей малой и средней длины с односторонним движением транспорта специалистами Ленметрогипротранса отдается предпочтение использованию продольной схемы вентиляции, с помощью которой представляется возможным усилить естественный воздухообмен. За двадцать лет эксплуатации отлично себя зарекомендовала продольная схема вентиляции автодорожного тоннеля в Морском порту Санкт-Петербурга, реализованная по проекту нашего института.

ОАО «ЛМГТ» – одна из крупнейших российских проектных организаций, которая является продолжателем традиций школы российского метро и тоннелестроения, сегодня активно наращивает свой профессиональный потенциал и пополняет галерею завершенных проектов в Санкт-Петербурге, Москве и других городах нашей страны. 70-летний юбилей – достойный повод подвести итоги и поделиться накопленным опытом.

В разработанных и реализованных за последние десятилетия девяти проектах тоннельной вентиляции (в том числе восьми в районе Сочи), специалисты Ленметрогипротранса применили различные принципы вентиляции, используя новейшие достижения и современное эффективное оборудование.

В качестве основы для расчета потребности в свежем воздухе должна приниматься максимальная часовая интенсивность движения автомобилей по прогнозу дорожного движения для участка дорожной сети, на котором расположен тоннель. Газом, который используется в качестве индикатора, является монооксид углерода (СО). В настоящее время за счет совершенствования автомобильного парка (распространения катализаторов выхлопных газов автомобилей и значительного снижения выбросов СО) этот загрязнитель больше не является определяющим при расчете параметров воздухообмена. В качестве главного критерия при расчете параметров вентиляции используются окислы азота (NO_x) и самый токсичный из них – двуокись азота (NO_2).

Дополнительные технологические требования к воздушной среде в тоннеле заключаются в обеспечении видимости, удовлетворяющей требованиям безопасного движения. Ухудшение видимости в тоннеле является источником потенциального риска с точки зрения дорожно-транспортных происшествий. Воздухообмен, необходимый по условиям обеспечения видимости, рассчитывается по разбавлению содержания сажи в воздухе до показателей ПДК. Расчет воздухообмена по тепловыделениям следует производить, учитывая среднесуточную интенсивность движения транспортных средств, а также эффект накопления и отдачи тепла грунтами, окружающими тоннель.

При определении суммарного объема выхлопных газов можно ориентироваться на следующую зависимость – один литр сжигаемого топлива приводит к образованию примерно 16 тыс. л смеси различных газов. При движении автомобиля в тоннеле с постоянной скоростью на подъем используется до 60 % паспортной мощности двигателя, на спуск не более 10 %.

На практике для предварительного (оценочного) расчета вентиляционного воздухо-

обмена на этапе выбора принципиальной вентиляционной схемы рекомендовано использовать следующие критерии:

- среднее содержание СО по всей длине сооружения не должно быть выше 50 ppm в течение любых 30 мин и 90 ppm в течение любых 15 мин;
- среднее содержание NO_2 по всей длине сооружения не должно быть выше 0,4 ppm в течение любых 15 мин.

В тоннелях всегда наблюдается естественное движение воздуха от одного портала к другому, обусловленное естественной тягой. В отличие от природных факторов, автомобильное движение приводит к возникновению нестационарных воздушных потоков, величина и направление которых определяется интенсивностью и скоростью движения транспортных средств. Если скорости транспортных средств и воздушного потока направлены в разные стороны, то транспортные средства оказывают аэродинамическое сопротивление потоку. При однонаправленном движении, если транспортное средство имеет меньшую скорость относительно воздушного потока, оно будет оказывать сопротивление, и наоборот, если скорость транспорта больше скорости воздуха в тоннеле, транспорт будет оказывать на воздух дополнительное проталкивающее воздействие, которое называют «поршневым эффектом». Суммируясь с «поршневым эффектом» от автомобилей, естественная тяга оказывает существенное влияние на вентиляцию тоннеля, в одних случаях, повышая эффективность искусственной вентиляции, а в других – препятствуя ее работе.

В тоннелях со встречным движением воздушные потоки не имеют явно выраженной направленности и их можно разделить на вентиляционные и циркуляционные.

Способ вентиляции тоннелей выбирают в зависимости от климатических условий места строительства, глубины заложения, сечения и конструкции сооружения, застройки поверхности (для городских тоннелей), общей длины трассы и пропускной способности. В практике эксплуатации автодорожных тоннелей используются продольные, поперечные, продольно-поперечные и комбинированные схемы вентиляции.



Рис. 1. Установка направляющего дефлектора

При выборе принципа вентиляции тоннеля всегда следует первоначально рассматривать продольную схему. Для продольной схемы тоннель служит воздухопроводом, по которому проходит необходимый для вентиляции объем воздуха. Совместное действие естественных факторов воздухообмена и вентиляторов позволяет с наименьшими энергетическими затратами удалять загрязненный воздух через тот портал тоннеля, где концентрация вредных примесей максимальна. Требуемый воздухообмен обеспечивается наружным воздухом, который затягивается в тоннель через один портал и выбрасывается через другой. Реализация данной схемы осуществляется за счет использования осевых струйных вентиляторов, свободно установленных под сводом (потолком) тоннеля, вдоль его продольной оси за пределами условной линии габарита приближения оборудования. В этой схеме потери давления при движении воздуха по тоннелю в продольном направлении компенсируются благодаря обмену импульсами (количествами движения) между струей из вентилятора и воздухом в тоннеле. С помощью создания воздушной струи преодолевается аэродинамическое сопротивление тоннеля за счет преобразования реактивного импульса вентиляторов в статическое давление. Для эффективного использования струйные вентиляторы включаются в направлении, соответствующем естественному движению воздуха на момент, предшествующий включению. В расчете необходимо учитывать снижение эффективности при настилающей обделке струе (близость вентилятора к стенам и потолку). Потерю эффективности можно компенсировать наклоном воздушных струй. Такое решение может быть реализовано с помощью специальных направляющих (дефлектора), установленных на выходном патрубке вентилятора (рис. 1).

Санитарный воздухообмен тоннелей протяженностью до 1000 м, расположенных на автотрассах, может эффективно осуществляться без использования вентиляторов, а только за счет естественной тяги и поршневого эффекта. В этом случае затраты на инвестирование и эксплуатацию вентиляции минимальны, но эта концепция применима только при отсутствии специальных требований по противодымной защите средств вентиляции.

При продольной вентиляции (рис. 2) концентрация вредных веществ в тоннельном воздухе возрастает с увеличением расстояния от приточного портала. Для тоннеля с двумя транспортными отсеками возможно возникновение ситуации, при которой часть воздуха из исходящей вентиляционной струи одного транспортного отсека подмешивается в приточный воздух, поступающий в соседний отсек, т. е. возникает эффект рециркуляции загрязненного воздуха. Для предотвращения рециркуляции рекомендуется: разнести входной и выходной порталы транспортных отсеков различного направления движения по длине трассы; соорудить на въездах у порталов разделительную стену между полосами движения встречного направления высотой, равной максимальной высоте поперечного сечения тоннеля, на длину, равную половине дальнобойности воздушной струи вытяжного портала.

Существует большая разница в подходе к выбору схемы вентиляции для городских и негородских тоннелей. В городском тоннеле ситуации аварийного закрытия полос, появления заторов и блокирования автомобильного движения в период пиковых нагрузок возникают систематически, тогда как в негородском тоннеле большую часть времени обеспечивается равномерность движения. Для городского тоннеля необходимо в обязательном порядке выполнять расчет по аварийной ситуации с учетом временно заблокированного движения. Дополнительно необходимо учитывать, что в случае выполнения ремонтных работ в одном транспортном отсеке с его временным закрытием (в тоннелях с двумя однонаправленными транспортными отсеками), возможна эксплуатация одного отсека с встречным движением.

В тоннелях со встречным движением транспорта применение продольных схем

проветривания не всегда приводит к положительному результату. При длине более 1000 м даже при наличии дополнительных путей эвакуации рекомендуют применять поперечную схему воздухообмена.

В городских тоннелях со встречным движением следует исходить из классификации по длине:

- до 300 м можно выбрать продольную систему со струйными вентиляторами;
- более 300 м – поперечная система.

Поперечная схема имеет ряд преимуществ, так как позволяет вентилировать тоннели любой длины. При поперечном способе воздух подается в тоннель и извлекается из него через систему воздухопроводов (каналов), прокладываемых почти на всем протяжении тоннеля. Каналы могут сооружаться (под проезжей частью и над ней, у свода), иногда вместо них могут сооружаться рядом с тоннелями специальные вентиляционные тоннели (штольни). В качестве каналов также могут быть использованы вертикальные и наклонные шахтные стволы или металлические воздухопроводы, проложенные вдоль тоннеля. Конструктивные особенности этой схемы определяются количеством, длиной и расположением вентиляционных каналов.

Эксплуатационные характеристики поперечной схемы вентиляции мало зависят от воздействия природных и техногенных факторов. Однако не совсем правильно считать, что ветровой и гравитационный напоры не действуют на эту схему. Сама схема основана на равенстве давления воздуха по длине транспортного отсека, но под действием ветра, естественной тяги или поршневого эффекта от движения автомобилей создается разность давлений по длине тоннеля, что приведет к дополнительному продольному перемещению воздуха и частично нарушит систему его распределения (рис. 3).

Поперечная схема вентиляции требует увеличения поперечного сечения тоннеля и сооружения подземных выработок и наземных зданий, что приводит к увеличению капитальных затрат на строительство и эксплуатационные расходы.

При продольно-поперечном способе вентиляции воздушные потоки имеют более сложные траектории, чем в случаях продольной или поперечной схем. Она сочетает в себе преимущества предыдущих схем. Благодаря наличию промежуточных вентиляционных узлов возможно проветривание протяженных автомобильных тоннелей, для которых продольная схема уже не является приемлемой.

Важным ограничением в применении продольно-поперечной схемы проветривания

Рис. 2. Продольная схема вентиляции



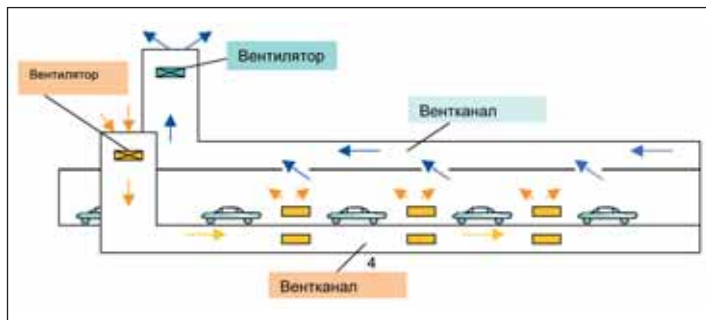


Рис. 3. Схема воздухораспределения при поперечной схеме вентиляции

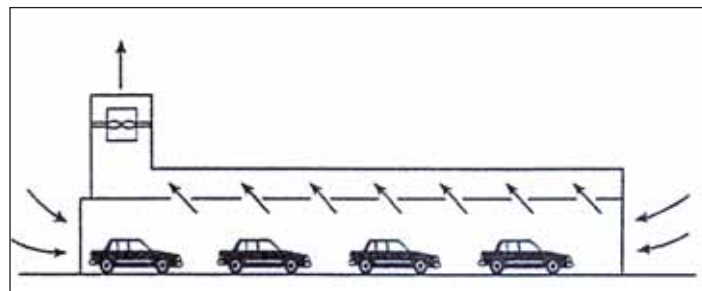


Рис. 4. Схема вентиляционного воздухообмена при продольно-поперечной вытяжной схеме вентиляции

является нерациональность её использования в вытяжном режиме, при котором воздух поступает из тоннеля в вентиляционный канал. В него будут поступать значительные количества незагрязненного воздуха вблизи портала, в то же время гораздо меньшие количества воздуха будут удаляться из зон, где нет организованного поступления свежего воздуха (по направлению к концу движения), там воздух будет иметь большую концентрацию вредных примесей (рис. 4).

Комбинированные вентиляционные схемы включают различные комбинации выше перечисленных схем (продольной, поперечной и продольно-поперечной). За счет этого достигается исключение недостатков, характеризующих отдельные схемы. Например, для увеличения продольной скорости воздушного потока в центральной части тоннеля при использовании продольно-поперечной схемы возможна установка струйных вентиляторов. Для протяженных тоннелей может оказаться рациональным применение секционной схемы проветривания, при которой центральная секция с продольно-поперечной вентиляцией используется для подачи свежего воздуха в крайние секции, проветривающиеся по продольной схеме. Конструктивно описанная схема реализуется за счет подачи вентиляторами чистого воздуха из штольни, расположенной параллельно транспортному тоннелю, в среднюю секцию тоннеля через отверстия регулируемой величины, выполненные по длине вентиляционного канала в верхней части тоннеля. При этом конечные отрезки тоннеля имеют продольную вентиляцию, осуществляемую, в том числе, и в результате работы струйных вентиляторов.

При равных условиях обеспечения безопасности отдавать предпочтение следует схемам, для которых характерны минимальные капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

За счет постоянного совершенствования автомобилей двигателей и топлива (до Евро5 в 2015 г.) достигается определенное снижение вредных выбросов от автомашин, в то же время интенсивность движения в автодорожных тоннелях постоянно возрастает, увеличивая вероятность пожаров. Это сильно влияет на концепцию проектирования вентиляционных систем, так как автодорожные тоннели характеризуются специфической пожарной опасностью, связанной с подземным расположением и разнообразной пожарной нагрузкой, вносимой транспортным потоком, а также боль-

шим количеством людей, находящихся в тоннеле. Вентиляция способствует минимизации зоны задымления, устойчивости заданного направления движения воздушного потока, удалению дыма из зоны пожара. Основная цель стратегии при выборе проектного решения аварийной вентиляции состоит в том, чтобы за счет регулирования направления и скорости потока воздуха поддерживать расслоение дымовых газов до завершения эвакуации, пока пользователи находятся в зоне, в направлении которой движутся дымовые газы.

Вот основные элементы стратегии противодымной вентиляции: обеспечить достаточный продольный воздушный поток, чтобы направить все дымовые газы в одну сторону (к одному из порталов тоннеля), при условии, что с этой стороны не предусматривается эвакуация пользователей; для обеспечения режима удаления дыма при продольной схеме вентиляции применяются установки санитарной тоннельной вентиляции, работа которых (прямая или реверсивная) организуется в зависимости от локализации очага пожара, расположения в тоннелях транспортных средств и наличия путей эвакуации. В тоннеле с однонаправленным движением надо обеспечивать смещение воздушного потока в направлении движения транспорта за счет нагнетания воздуха продольной вентиляционной системой. Задача заключается в том, чтобы выдавливать дымовые газы в одну сторону от очага пожара со скоростью, достаточной для предотвращения опускания дыма с тыльной стороны пожара. Пользователи, заблокированные «по ветру» от очага, будут защищены вентиляционным потоком, в то время как автомобили, находящиеся «под ветром» от пожара, продолжая движение с прежней скоростью, могут безопасно покинуть тоннель до аварийной зоны задымления припортальной зоны.

При расчете параметров вентиляции необходимо рассматривать две фазы:

- фазу эвакуации, в течение которой необходимо сохранить стратификацию дымовых газов, когда безопасная эвакуация людей достигается при движении их навстречу свежей струе воздуха;
- фазу пожаротушения, в течение которой целесообразно выдавливать дымовые газы с одной стороны от пожара, чтобы обеспечить доступ, свободный от дыма, специальным подразделением с другой стороны от пожара. Вариант соответствует стратегии продольной вентиляции.

Ограничить скорость продольного потока воздуха, чтобы сохранить расслоение дымовых газов высасывать их принудительной вытяжкой из верхней зоны. Скорость управляемого воздушного потока должна быть меньше предельной величины, характеризующей разрушение стратификации. Вариант соответствует стратегии поперечной или продольно-поперечной вентиляции. Логика применения той или иной схемы должна учитывать возникающий при пожаре гравитационный напор.

С учетом совпадения схемных решений и рабочих параметров систем санитарной (эксплуатационной) вентиляции и систем противодымной защиты рекомендуется совместное использование соответствующих вентиляционных каналов, вентиляторов и другого технологического оборудования.

Предусматриваемая проектными решениями технология эксплуатации тоннельной вентиляции включает современные компьютерные управляющие системы. Высокий уровень автоматизации процессов управления тоннельной вентиляцией обеспечивает эффективность и безопасность для пользователей и персонала транспортных тоннелей. В зависимости от степени использования средств автоматизации должны быть реализованы следующие режимы управления:

- автоматическое управление (выбор режима определяется и исполняется программой автоматически);
- управление, реализуемое диспетчером (ввод команд и дополнительных данных осуществляется оператором с пульта в ручном режиме).

Выбор режима определяется диспетчером из перечня режимов, предлагаемых системой.

Для повышения эффективности управления вентиляцией в составе системы АСУ ТП рекомендовано предусматривать систему контроля транспортного потока, назначением которой является текущий учет количества автомобилей, прошедших через порталы.

Вентиляция тоннелей и метрополитенов — та область, которая не может существовать и развиваться без инноваций, без технического совершенствования, без внедрения передового отечественного и зарубежного опыта. Конечно, за каждым внедрением инноваций стояли и стоят люди, которые считали и считают труд в Ленметрогипротрансе высокой честью, и которым вовсе не безразличен имидж своей организации. Сегодня, в год 70-летия института, коллектив все так же богат идеями и смело смотрит в будущее.

Дорогие друзья!



От имени коллектива Научно-Исследовательского Центра «Бамтоннель» и от себя лично поздравляю коллектив ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» с 70-летием со дня создания!

70 лет возраст солидный! Солидны и проекты, осуществленные и осуществляемые творческим коллективом ЛМГТ.

Мудрые ветераны и энергичные молодые инженеры обеспечивают строительную отрасль уникальными и смелыми проектами реконструкции действующих и строительства новых подземных транспортных сооружений.

По вашим проектам построено множество железнодорожных и автодорожных тоннелей по всей нашей огромной Родине. Это тоннели в Сибири и на Дальнем Востоке, на линии Абакан – Тайшет и Северном Кавказе. Кроме того, это метрополитены многих городов России и СССР. Особенно хочется отметить тоннели Байкало-Амурской магистрали, где вашим

коллективом были разработаны проекты, которые успешно претворены в жизнь в сложнейших климатических и инженерно-геологических условиях. При этом были проявлены все ваши лучшие профессиональные качества и, вместе с тем, был приобретен ценнейший опыт, в последующем реализованный при строительстве других объектов и, в частности, при строительстве тоннелей по программе подготовки к Сочинской Олимпиаде.

Наше сотрудничество с ЛМГТ в области научного сопровождения, горно-экологического мониторинга при строительстве тоннелей и предпроектного обследования действующих сооружений насчитывает не один десяток лет. В тесном сотрудничестве велись работы при строительстве и реконструкции Северомуйского и Байкальского тоннелей БАМ, тоннелей на участке Адлер – Красная Поляна при подготовке к Олимпиаде 2014 г. Опыт, полученный при выполнении совместных работ, позволил существенно повысить квалификацию наших сотрудников и применять его в исследованиях на уникальных подземных транспортных сооружениях.

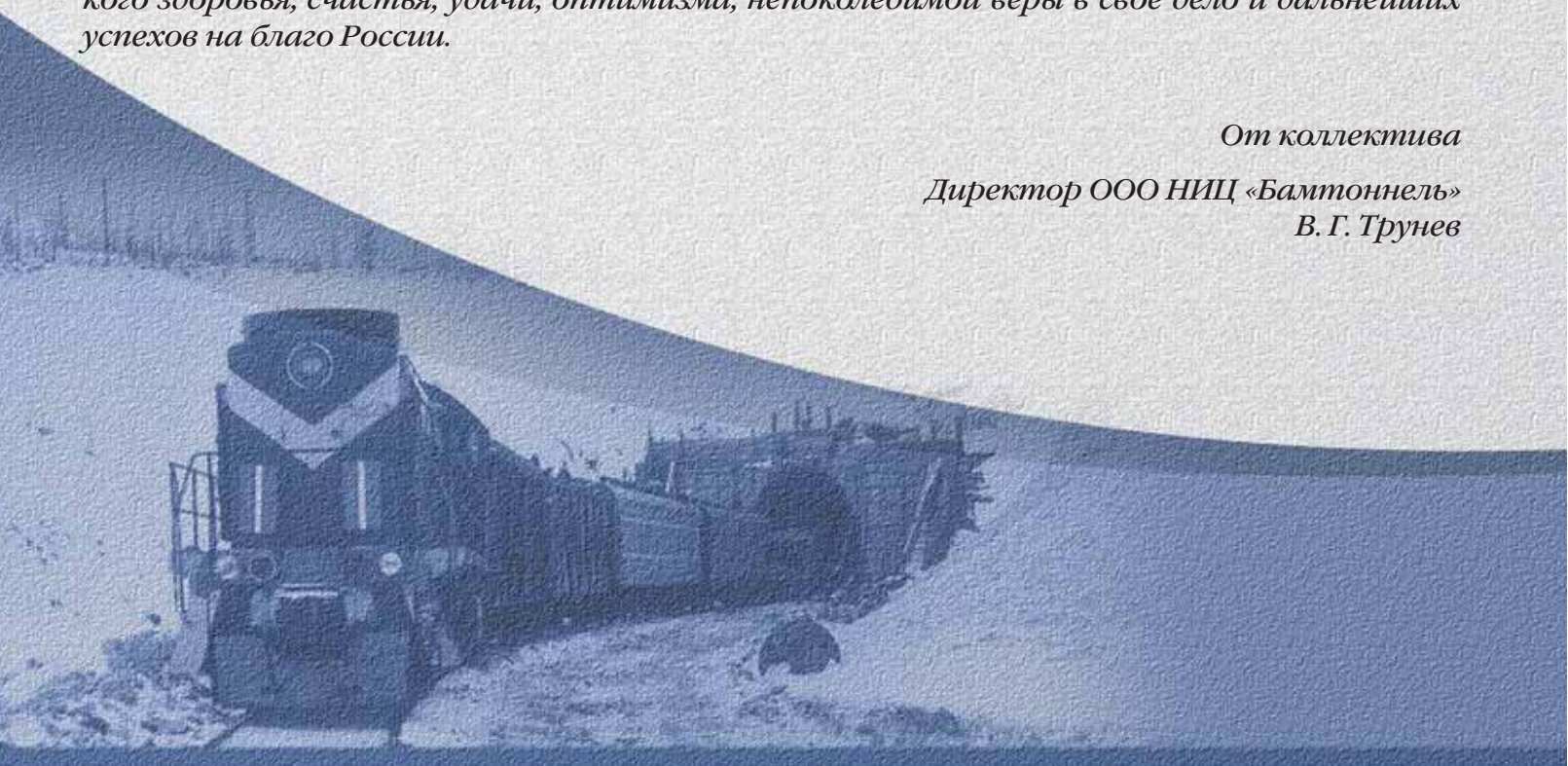
Мы бережно и с большой гордостью относимся к нашему сотрудничеству с надеждой на его дальнейшее многолетнее продолжение.

В год 70-летия института от всей души желаем вашим сотрудникам и их семьям крепкого здоровья, счастья, удачи, оптимизма, непоколебимой веры в свое дело и дальнейших успехов на благо России.

От коллектива

Директор ООО НИЦ «Бамтоннель»

В. Г. Трунев



СТРУЙНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ НА ОБЪЕКТАХ МЕТРОПОЛИТЕНА



Е. К. Левина,
главный специалист
теплосантехнического
отдела ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

Отдел участвует во всех проектах института и часто решает очень сложные задачи, требующие индивидуального, не типового подхода. Такие проекты были выполнены для тоннелей БАМа, Олимпийской трассы, а также для метрополитена Казани и, конечно же, Санкт-Петербурга.

Специалистами отдела за 70 лет, безусловно, накоплен уникальный опыт, а своевременная реакция на развитие технологий позволяет сохранять высокий уровень проектирования и соответствовать современным требованиям.

В последнее время большое внимание уделяется системам вентиляции транспортных тоннелей и метрополитенов в части поддержания санитарных норм, микроклимата и реализации режимов дымоудаления.

При проектировании систем вентиляции специалистами отдела применяется современная компьютерная техника с необходимым программным обеспечением, которое позволяет при выполнении проектов решать задачи любого уровня сложности (рис. 1 и 2).

В качестве одного из примеров по внедрению новых технологий можно выделить решение об использовании струйных вентиляторов для проветривания соединительной ветки одной из первых линий Петербургского метрополитена.

В процессе эксплуатации столкнулись с проблемой недостаточности воздухообмена в соединительной ветке (рис. 3) двух центральных станций, работа же существующих установок тоннельной вентиляции на данном участке оказывалась недостаточной для создания в ней постоянного воздушного потока. Связано это было с тем, что эжекционная установка, предназначенная для вентиляции этой соединительной

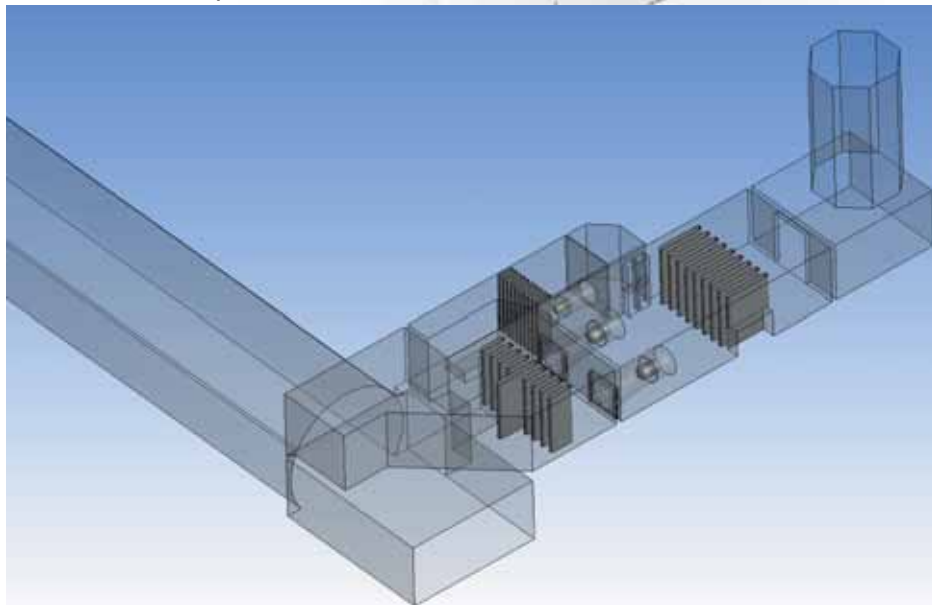
Теплосантехнический отдел ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» является комплексным отделом, который занимается проектированием постоянных инженерных систем разделов ОВ, ТС и ВК для подземных транспортных сооружений, а также разрабатывает системы обеспечения строительства сжатым воздухом, теплом, водой и вентиляцией.

ветки, не была сооружена, фактически проветривание выработки осуществлялось только за счет поршневого эффекта от движущихся поездов (10–12 составов в сутки). Такое проветривание не обеспечивало устойчивого движения воздуха и приводило к возникновению повышенной влажности и, как следствие, – коррозии элементов обделки и оборудования.

Необходимо было организовать проветривание соединительной ветки в ночное время, когда отсутствует движение поездов, при этом строительство эжекционной установки в условиях действующего метрополитена исключалось.

Опираясь на богатый опыт проектирования транспортных тоннелей, была запроектирована продольная схема вентиляции с использованием струйных вентиляторов в условиях метрополитена. Особенностью данной системы вентиляции является отсутствие необходимости сооружения специальных выработок, так как струйные вентиляторы размещаются непосредственно в транспортной зоне тоннеля и за счет использования кинетической энергии высокоскоростной струи на выходе из вентилятора организуют воздушный поток в сечении тоннеля, т. е. по сути своей исполняют роль эжекционной установки. Вентиляторы были смонтированы в объеме камеры съездов, под сводом вдоль продольной оси, за пределами габарита приближения оборудования.

Рис. 1. 3D модель камеры тоннельной вентиляции



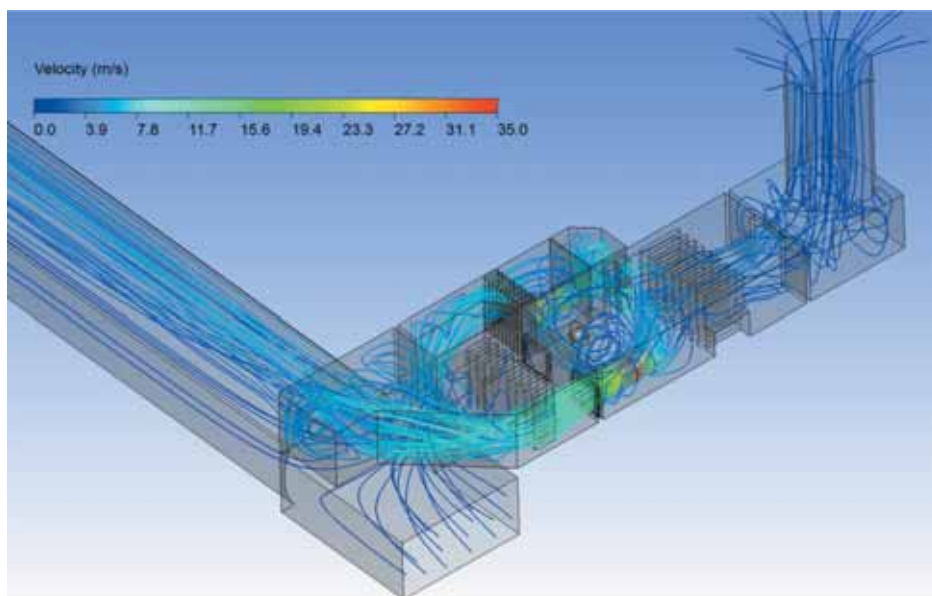


Рис. 2. Результаты моделирования воздухораспределения

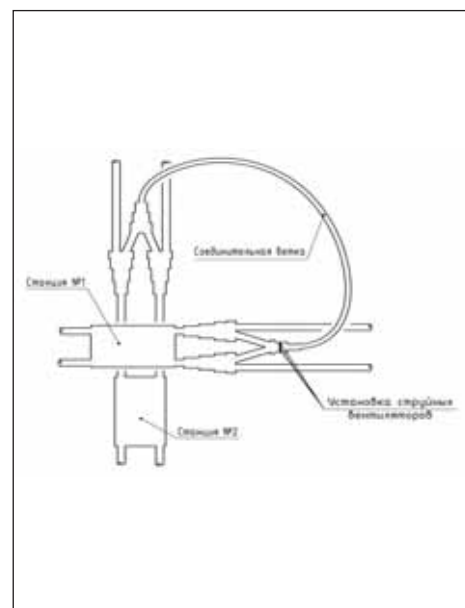


Рис. 3. Схема соединительной ветки

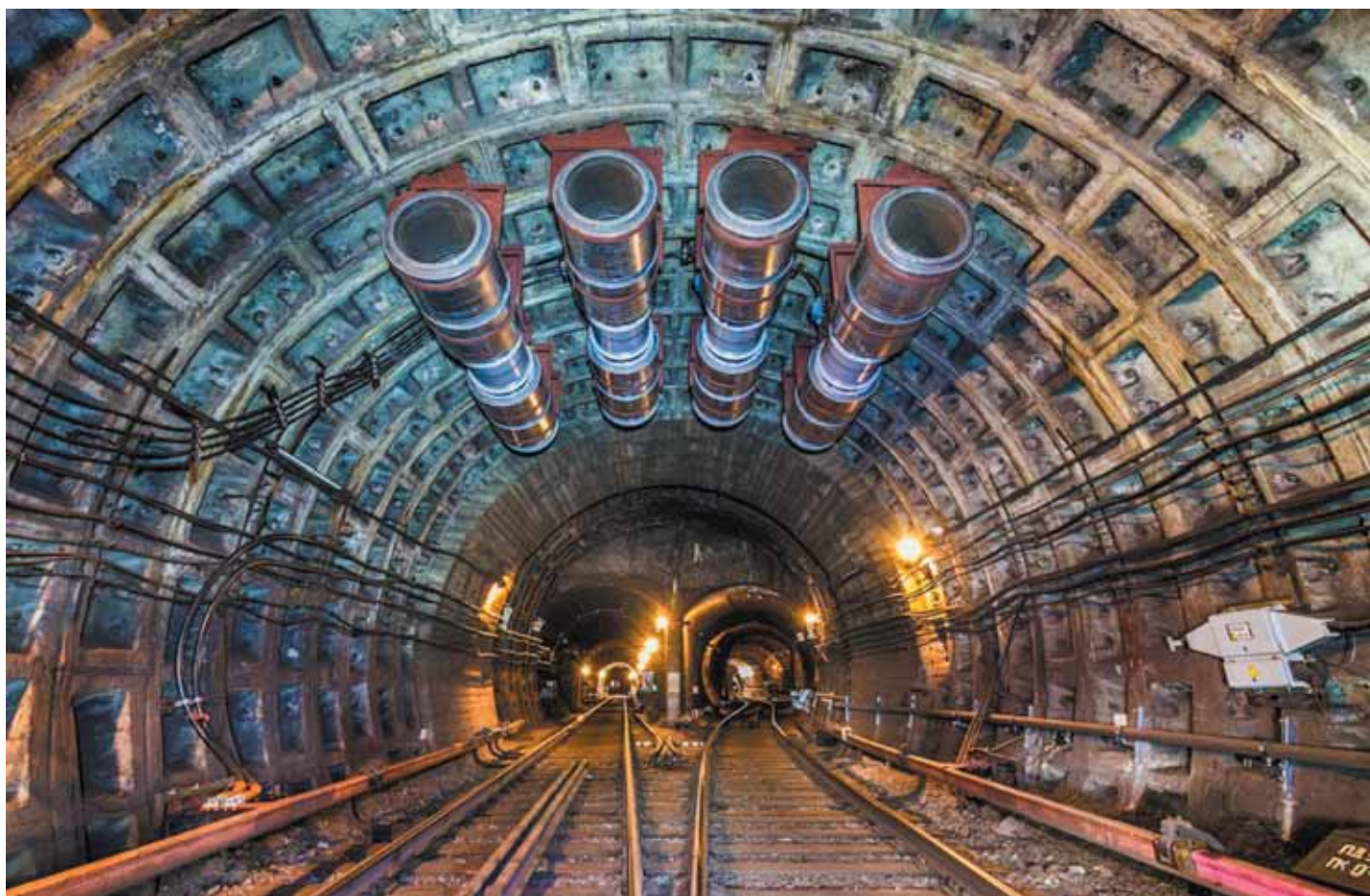


Рис. 4. Установка струйных вентиляторов

Принятая установка состояла из четырех осевых струйных вентиляторов диаметром 630 мм, располагаемых в ряд (рис. 4). Вентиляторы оснащены глушителями шума с обеих сторон, входным и выходным конусом с направляющей дюзой, гибкими вставками, монтажными приспособлениями и виброизоляторами для исключения негативного влияния на конструкцию тоннеля. Для удобства эксплуатации электродвигателя в нижней части корпуса был предусмотрен лючок со съемной крышкой.

В результате работы сотрудники отдела нашли простое и современное решение, которое позволило избежать значительных затрат по сооружению эжекционной камеры и обеспечить нормируемые параметры воздушной среды в кратчайшие сроки.

Система успешно эксплуатируется с 2007 г.

В проектах новых линий, в системах вентиляции веток в депо, галерей, а также защиты порталных участков тоннелей от

обмерзания нашли применение струйные вентиляторы.

В настоящее время, при проектировании линий с двухпутными тоннелями, отделом рассматривается возможность использования струйных вентиляторов в аварийных режимах дымоудаления. Для каждого конкретного случая струйные вентиляторы могут использоваться как для оптимизации удаления дыма из тоннелей, так и для блокировки распространения дыма в сторону станций.





Проектируемая станция «Морской фасад»



Проектируемая станция «Улица Савушкина»

Уважаемый Владимир Александрович, уважаемые коллеги!

*Коллектив ОАО «Трансмост» от всей души и с большой радостью
поздравляет вас с 70-летним юбилеем!*

*За время своей деятельности ваша компания прошла долгий и славный путь, став
фирмой, по праву являющейся одним из флагманов отечественного метро- и
тоннелестроения. Сегодня ваша компания широко известна не только в России, но и за
ее пределами способностью ответственно и в срок решать задачи любой сложности,
высоким качеством своей работы, сплоченным коллективом.*

*К своему юбилею коллектив ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» подошел с серьезным
багажом объектов, оставивших яркий след в истории отечественного
тоннелестроения. Полный комплекс выполняемых работ по метрополитенам,
железнодорожным, автодорожным, подводным тоннелям и гидротехническим
сооружениям является неотъемлемой частью проектной организации,
заслуживающей уважения профессионалов всей отрасли.*

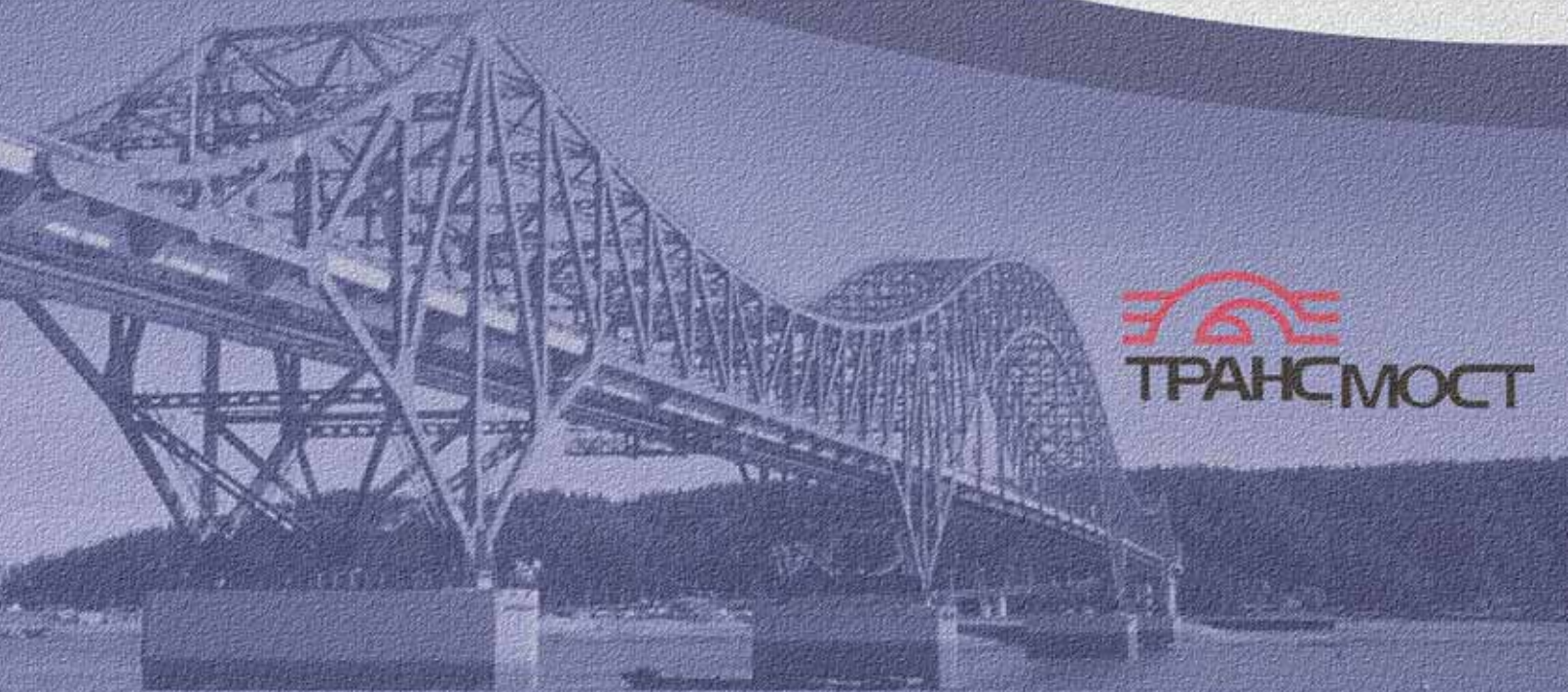
*Нам очень приятно отметить, что ряд объектов был построен при наших
совместных разработках, наиболее ранней из которых стало проектирование первого
участка Новосибирского метрополитена, где один из перегонов
между станциями прошел по мосту через реку Обь.*

*Примите наши искренние пожелания вашему предприятию –
уверенному его развитию и новых интересных объектов.*

*Желаем здоровья всем сотрудникам и членам их семей, успехов
во всех начинаниях, жизненных радостей.*

Еще раз с Юбилеем вас, дорогие друзья!

*Генеральный директор ОАО «Трансмост»
Е. Г. Агафонов*


ТРАНСМОСТ

СВЕТЛЕЕ, ЯРЧЕ, БЫСТРЕЕ...



Дружный коллектив электротехнического отдела ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

Не хотелось писать статью в привычном для серьезного журнала формате – с сухим перечислением достижений последних лет. У Ленметрогипротранса большой праздник, пусть ощущение этого праздника появится и на страницах серьезного журнала не только в виде парадных фото и глубоко продуманных технических материалов.

Задача была поставлена простая – что хотелось бы сотрудникам отдела прочитать в статье о подразделении, где они работают? Каким они видят свой отдел? Что для них важно?

Основные тезисы, полученные в качестве ответов, приводятся дословно:

– Если конструкторский отдел и отдел организации работ являются телом института, то электротехнический отдел является его сердцем, оживляя станции, перегоны, вестибюли, тоннели;

– Слова-синонимы для электротехнического отдела – «Движение», «Свет в конце тоннеля». Наш девиз: «Светлее, ярче, быстрее»;

– Уже 70 лет мы дарим свет и несем людям мощность. Без нас не видно будет мощи и красоты, созданной конструкторами и архитекторами. Без нашей силы ничто не

придет в движение, мы вдыхаем жизнь во все механизмы.

Честное слово, радостно и за отдел, и за институт.

Ну, а если посерьезней, то за последние пять лет в отделе очень многое изменилось, начиная с количественного и качественного состава и заканчивая объемами выполняемых работ. В отделе 23 сотрудника, средний возраст которых приближается к 40 годам (это при наличии пяти человек, которым за 50), т. е. отдел существенно помолодел. Благодаря внутренней реорганизации производительность труда повысилась, а от узкой

Вагоны метрополитена типа 81-722/723/724 «Юбилейный»





Станция Петербургского метрополитена «Международная»

специализации отдельных групп практически ничего не осталось. Такое решение вполне оправданно и полностью соответствует реалиям сегодняшнего дня в проектировании, отвечает высоким репутационным требованиям института, позволяет выполнять поставленные задачи быстро и качественно.

Без ложной скромности можно констатировать тот факт, что при прохождении любых экспертиз, в том числе тяжелой экспертизы в Москве, по электротехническому разделу положительное заключение появлялось всегда одним из первых.

Заявила о себе новая задача – метрополитены и Москвы, и Санкт-Петербурга стали закупать и эксплуатировать составы с асинхронными двигателями, технические характеристики которых потребовали изменения подхода к решению многих вопросов по такому специфическому разделу проектирования, как тяговая сеть 825В. Совместно с отделом ПАПР были рассмотрены вопросы эффективности использования вагонов с асинхронным приводом, вопросы экономии электроэнергии как с учетом рекуперации, так и без рекуперации, вопросы применения конденсаторных накопителей энергии на ТПП.

Достаточно оперативно удалось адаптировать подход к расчетам под новые вводные. Успешно выполнены проекты практически по всему ТПК Москвы, по пяти станциям Калининско-Солнцевской линии, еще по ряду объектов. К сожалению, знания и умения в этой области не удастся реализовать в Санкт-Петербурге, но это, видимо, дело времени.

Появилась Правительственная программа по импортозамещению и повышению энергоэффективности – достаточно быстро подобрали аналоги све-

тильников, обновили элементную базу в электронном каталоге. Только на первый взгляд может показаться, что это просто. На самом деле, в применяемых до этого светильниках использовались импортные источники света с более чем удовлетворительным светопотоком и другими качественными характеристиками. Поэтому замена привычных светильников светодиодными потребовала профессионального инженерного подхода и тщательных расчетов. Теперь использование энергоэффективных светодиодных источников света позволит получить нормируемую освещенность при снижении энергопотребления без ущерба для безопасности пассажиров.

Можно привести еще множество примеров – изменение привычного подхода к сооружению подстанций (Москва), экономия строительного объема наряду с необходимостью прокладки огромного количества коммуникаций, в том числе из-за ужесточения пожарных норм. Наверное, не имеет смысла перечислять все трудности, с которыми пришлось столкнуться за последние пять лет.

Проектировать стало не проще, сложнее на порядок, чем было когда-то. Меняются нормы и требования, подходы, принцип действия механизмов – все требует постоянного мониторинга новшеств, работы с представителями предприятий-изготовителей, с эксплуатационными службами объектов проектирования и строительства. И так же, как динамично развивается внешняя среда, развивается, адаптируясь под актуальную действительность, отдел.

Когда-то первые три года работы инженер считался «молодым специалистом», к которому во многом относились снисходительно, прощая оплошности. Сейчас «молодыми специалистами» вновь пришедшие на работу инженеры будут только два первых месяца испытательного срока. А затем темп, в котором работает отдел, не даст им возможности получить снисхождение. Раз пришел в команду – работай с ней в одном темпе.

Нельзя не сказать еще и том, что в отделе работают сотрудники, успешно освоившие премудрости 3D проектирования. Впереди – информационное моделирование сооружений (BIM). Хочется верить, что скоро это станет обычной практикой, которая позволит лучше, быстрее и качественнее решать любые технические вопросы, избегая коллизий в документации, а также позволит упростить и поставить на современный уровень задачи, решаемые при проведении авторского надзора.

*С большим уважением к коллегам,
 Дружный коллектив
 электротехнического отдела
 ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»*





Проектируемая станция «Дунайский проспект»



Проектируемая станция «Шкиперская», вестибюль

Уважаемые коллеги!



ФГУП «УС-30» от всей души поздравляет вас со столь знаменательной датой, с 70-летним юбилеем института.

Сегодня вы одна из самых востребованных проектных организаций не только Санкт-Петербурга, но и всей России. Все, что сегодня можно назвать лучшим достижением в сфере транспортного строительства, создано благодаря уму, таланту и трудолюбию вашего коллектива. Нам приятно отметить высочайший профессионализм коллектива, преданность делу и умение работать в команде; способность нестандартно мыслить, находить оригинальные решения любых, даже самых сложных инженерных задач.

В день 70-летнего юбилея института примите от ФГУП «УС-30» сердечные поздравления с этой значимой для всех нас датой. Желаем работникам института здоровья и благополучия, дальнейших успехов в трудовой и творческой деятельности!



С уважением,

*Врио по должности начальника
ФГУП «УС-30»
А. А. Максимов*

Уважаемые коллеги!

Примите искренние поздравления с юбилеем!

Коллектив ГУП «Ленгипроинжпроект» поздравляет всех сотрудников ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» со знаменательной датой – 70-летием со дня основания!

За этот период пройден большой путь, по вашим проектам построены: линии метрополитена в Санкт-Петербурге, Челябинске, Новосибирске, Казани, Самаре; тоннели Байкало-Амурской магистрали, на трассе Абакан – Тайшет, в г. Сочи.

Обширна география проектируемых тоннелей различного назначения:

под проливом Невельского, под Беринговым проливом, метрополитены на Кубе, в Венгрии, Индии, Финляндии.

Накопленный производственный опыт, высокая квалификация работников, широта применяемых знаний дают возможность находить оригинальные решения любых задач, выводят вас в лидеры рынка по проектированию тоннелей и метрополитенов.

Выражаем вам благодарность и признательность за долгие годы сотрудничества. Мы высоко ценим ваш профессионализм, богатейший производственный опыт, творческий подход при совместном проектировании инженерных сооружений.

И в дальнейшем убеждены, что наша совместная работа будет такой же плодотворной и востребованной.

В юбилейный для института день хотим пожелать всем руководителям и сотрудникам удачи, процветания и новых успехов в профессиональной деятельности. Пусть все ваши идеи окажутся воплощенными в жизнь, а планы успешно реализуются.



*Коллектив ГУП
«Ленгипроинжпроект»*

ПРОБЛЕМЫ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВУЮЩЕГО МЕТРОПОЛИТЕНА



И. В. Культин,
заместитель
главного инженера
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Е. В. Симаков,
начальник отдела ПАТС
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



С. А. Жуков,
главный специалист
отдела ПАТС
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»



Д. А. Пентегов,
руководитель группы
отдела ПАТС
ОАО «НИПИИ
«Ленметрогипротранс»

Всем известно, что с возрастом хорошее вино становится только лучше, что, к сожалению, нельзя сказать о творениях рук человеческих, таких как здания, сооружения и сопровождающих их различных инженерных сетях. В наш век стремительно развивающихся технологий, объекты инфраструктуры все еще пока не удается оградить от физического и морального устаревания. Исключением не являются и системы автоматики телемеханики движения поездов (АТДП) на метрополитене.

Даже при рассмотрении Петербургского метрополитена, а он по сравнению с Московским является более современным, мы видим, что станции первой очереди строительства от станции «Площадь Восстания» до станции «Автово» были открыты в 1955 г., а это ни много ни мало 61 год. Отличительной особенностью построения первых станций и линий метрополитена в части устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) было децентрализованное размещение оборудования, то есть основная часть управляющего и контролирующего оборудования находится в шкафах по перегонному тоннелю, а в релейном помещении размещаются лишь устройства, обеспечивающие работу автоматики в пределах станции. По сей день основным средством сигнализации движения поездов на линиях 1, 2 и 3 для перегонов и проходных станций является путевая автоблокировка (АБ) с автостопами и защитными участками, а на станциях с путевым развитием маршрутно-релейная централизация (МРЦ).

Позднее, в качестве дублирующего средства сигнализации на первых линиях метрополитена была внедрена автоматическая локомотивная сигнализация с автоматическим регулированием скорости (АЛС-АРС), передающая разрешающие движение сигналы на локомотивный светофор, и был осуществлен переход на четырехзначную путевую автоблокировку и в качестве основного на линии 4 и 5.

Глобальные изменения претерпела только диспетчерская централизация (ДЦ), к началу второго десятилетия двухтысячных годов релейная система СКЦ-67 по всему метрополитену была полностью заменена на микропроцессорную диспетчерскую централизацию ДЦМ, входящую в состав комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления (КАС ДУ).

Несмотря на всю свою надежность и безопасность, а по-другому нельзя охарактеризовать системы АБ и МРЦ, прослужившие более полувека, есть ряд факторов и причин, которые с каждым днем делают данные системы все более сложным для эксплуатации:

- моральное старение;
- коррозия металла. В условиях повышенной влажности в тоннеле шкафы АБ разрушаются, а замена их на типовые заводские изделия, отвечающие условиям безопасности, уже не представляется возможной по причине снятия их с производства;
- обслуживание перегонных устройств весьма неудобно (осуществляется в ночное четырехчасовое окно) и экономически невыгодно;

- износ кабеля, приводящий к пониженному сопротивлению изоляции жил;

- высыхание монтажных проводов;

- закупка современных подвижных единиц, к примеру, составов с асинхронным тяговым электродвигателем, имеющих улучшенные тяговые характеристики и требующих полной модернизации обратной тяговой сети и дающих наводку на тоннельные устройства автоматики;

- невозможность выполнения большего количества функциональных требований, например, необходимость увеличения интенсивности движения поездов, движение по АБ дает меньшую пропускную способность не только по техническим особенностям, но и вследствие влияния человеческого фактора при ведении составов машинистами; отсутствие средств диагностики предотказного состояния устройств;

- несоответствие нынешним нормам применяемых при строительстве первых линий материалов.

На смену устаревшим системам пришли микропроцессорные централизации (МПЦ), объединяющие в себе сразу несколько направлений: МРЦ, АРС-АЛС, АБ, ДЦ. Помимо расширенного функционала и повышенной информативности, МПЦ имеет централизованное размещение оборудования и занимает в разы меньшую площадь по сравнению с релейными системами, что особенно актуально в тесных условиях метрополитена (рис. 1 и 2). Однако не стоит забывать про относительно короткий срок службы данного вида централизации порядка 15 лет, особые



Рис. 1. Размещение оборудования в релейно-щитовой АТДП на станции «Приморская»



Рис. 2. Аппаратная АТДП, оборудованная системой «Движение» разработки НИИ «Точной механики», на станции «Международная»

требования к электропитанию и большое тепловыделение.

Очевидно, что вопрос модернизации систем АТДП, рано или поздно, остро встанет перед метрополитеном, при этом придется столкнуться со следующими проблемами:

- отсутствие экспертной оценки текущего состояния устройств СЦБ и методики определения оставшегося времени эксплуатации;
- необходимость стратегического планирования, позволяющего рационально, с учетом вышеуказанного пункта и существующих программ модернизации по другим направлениям (например, систем энергоснабжения), выполнять реконструкцию устройств автоматики с минимальными финансовыми потерями;

- недостаточность технических условий метрополитена на структуру и комплектующие МПЦ, которые должны унифицировать внедряемые системы (на сегодняшний день каждая система уникальна, что затрудняет ее обслуживание и быстрое устранение отказов);

- отсутствие актуальных и утвержденных типовых материалов для проектирования (ТП) и технических решений (ТР) в связи с развитием технологий и отсутствием технических условий, устройства МПЦ постоянно обновляются;

- хрупкость старых коммуникаций;
- невозможность укладки нового кабеля для переключения систем на станциях первой очереди по причине непроходимости

коллекторов, занятых неиспользуемыми кабелями;

- наличие станций с децентрализованным размещением оборудования АТДП;

- отсутствие свободного места в помещениях АТДП;

- отсутствие свободных помещений по станции;

- устаревшая система электроснабжения, не позволяющая запитать две системы одновременно для возможности переключения или параллельной работы во время пуска-наладки, кроме того микропроцессорные устройства требуют наличия глухозаземленной нейтрали;

- финансирование.

На сегодняшний день Ленметрогипротранс уже имеет опыт в создании проектов по реконструкции устройств АТДП. Это переход на МПЦ-МПК разработки ЦКЖТ ПГУПС с централизованным размещением оборудования с сохранением автоблокировки, автоостопов и изолирующих стыков на станциях «Гражданский проспект», «Академическая», «Политехническая» (проект был выпущен в 2012 г.). В связи с закупкой новых составов с асинхронными тяговыми электродвигателями, для возможности запуска их с заводскими характеристиками без уменьшения мощности приходится полностью перерабатывать тяговые подстанции, а также прямую и обратную тяговую сеть. При этом производится закупка более мощных и весьма дорогостоящих дроссель-трансформаторов (ДТ), необходимых для пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков.

В данных условиях целесообразнее с АБ с защитными участками и автоостопами и МРЦ переходить на МПЦ, с основным средством сигнализации АЛС-АРС. Уход от автоблокировки, как от основной системы, позволит демонтировать основную часть ДТ, светофоров и автоостопов, и следовательно, избежать значительных трат на закупку морально устаревшего оборудования и дальнейшее обслуживание.

Не остаются без внимания и все вышеперечисленные вопросы. По основной их части Ленметрогипротранс ведет обсуждения и проработку по использованию новейших технологий и оборудования в этой области и может предложить свои решения для предотвращения негативных ситуаций.

Для осуществления поставленных задач необходимы действия со стороны Петербургского метрополитена, подкрепленные поддержкой городских властей в виде целевых программ по реконструкции морально устаревших систем обеспечения безопасности движения поездов.

Важно понимать, что каждый день промедления в решении проблем модернизации систем автоматики и телемеханики движения поездов может привести к серьезным последствиям, таким, как остановка целых линий.



ПЕТЕРБУРГСКИЙ ТАНДЕМ



– Алексей Юрьевич, какие проекты сейчас реализуются совместно Метростроем и Ленметрогипротрансом?

– Сегодня мы очень плотно работаем по Фрунзенскому радиусу, где впервые на постсоветском пространстве нами совместно реализуется сооружение двухпутного тоннеля диаметром 10,3 м с применением тоннелепроходческого комплекса с грунтопригрузом. Тоннель длиной 3,7 км уже пройден. Это большой шаг вперед в отечественном метростроении. У таких тонне-

Сегодня в Санкт-Петербурге строится сразу несколько участков метрополитена. Над реализацией этих проектов трудится тандем, состоящий из петербургского института «Ленметрогипротранс», которому в декабре 2016 г. исполняется 70 лет, и компании «Метрострой», которая отметила свое 75-летие в январе этого года. О работе этого тандема мы поговорили с заместителем генерального директора – главным инженером ОАО «Метрострой» Алексеем Юрьевичем Старковым.

лей большое будущее, так как они и строятся быстрее и стоят дешевле. Если бы не определенная смелость проектировщиков и метростроителей, то проект так и остался бы проектом. А сейчас, имея наш опыт, я думаю, строительство двухпутных тоннелей метро станет общепринятой практикой. И не только в Санкт-Петербурге, но и в других городах.

Также мы с ОАО «Ленметрогипротранс» вместе трудимся на Невско-Василеостровской линии. Для нас это ключевой объект, так как он готовится к Чемпионату мира по футболу 2018 г., и на его строительство вместо пяти лет нам выделено всего два с половиной года. Сжатые сроки сподвигнули нас к оптимизации технологии проходки двухпутного тоннеля и строительства

станции «Новокрестовская». Мы верим, что все наши усилия, усилия проектировщиков окажутся верными и этот участок метрополитена будет введен в эксплуатацию в заданный срок.

И третий наш совместный объект на сегодняшний день – это Лахтинско-Правобережная линия. Она не отличается глобальными инновациями, более знакома и понятна нам и институту, но это не отменяет нашей плотной совместной работы на строительстве этой ветки.

– Какие еще совместные объекты можно отметить?

– За 70 лет работы мы совместно с Ленметрогипротрансом наработали огромный опыт строительства сложнейших по своим техническим характеристикам объектов

Монтаж ТПМК на станции «Адмиралтейская»





Демонтаж обделки в теле станции «Дунайский проспект»



Монтаж эскалаторов, ст. «Проспект Славы»



Высокоточная обделка для строительства двухпутного тоннеля

метрополитена в нашем городе. Среди них есть и такие, которые никто и никогда не делал больше. Например, двухъярусная одностовчатая станция глубокого заложения «Спортивная». Нигде в мире вы не встретите подобного сооружения. А ленинградские проектировщики и строители рискнули, построили. Или, например, проходка наклонного хода станции «Адмиралтейская» с применением тоннелепроходческого комплекса в невероятно стесненных условиях площадки, окруженной со всех сторон историческими зданиями. Нельзя не

Перегонный тоннель Фрунзенского радиуса Петербургского метрополитена. Путевые работы



вспомнить о таком периоде, как Размыв. На протяжении девяти лет длилась история ликвидации размыва, но благодаря ей мы вышли на принципиально иной уровень: высокотехнологичный, современный, передовой. В нашей практике появились механизированные проходческие машины нового поколения, мы стали применять высокоточную обделку. Опыт работы на Размыве стал основой для нашего дальнейшего развития и развития отечественного метростроения в целом.

– Кого из сотрудников хотелось бы отметить особо и за что?

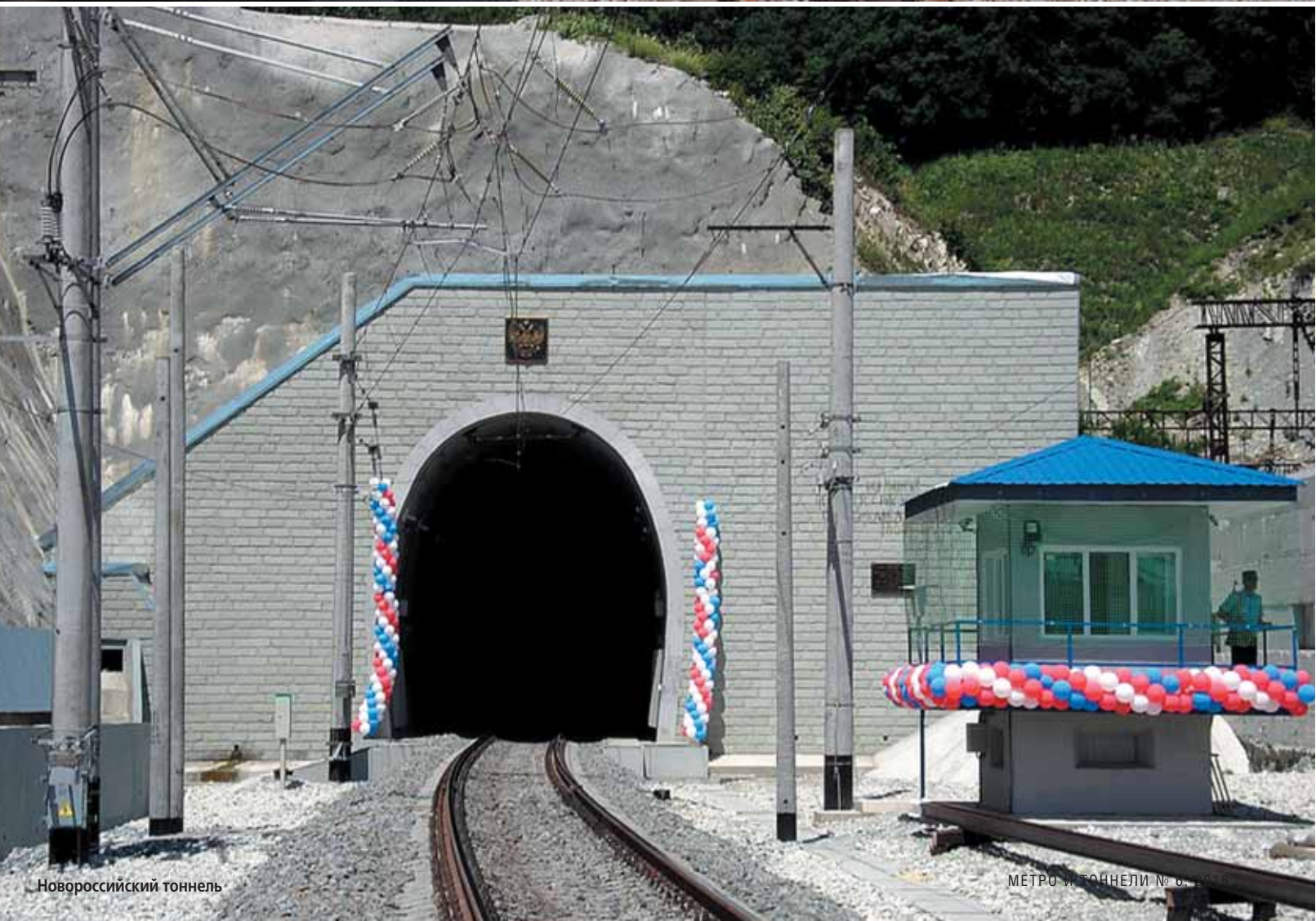
– Всех без исключения. Успехи института – это заслуга не одного человека, а всего коллектива. Но я просто не могу не отметить человека-эпоху, занявшего в отечественном метростроении заслуженное почетное место – Кулагина Николая Ивановича. Для многих из тех, кто сейчас работает, для людей моего поколения он стал настоящим учителем, Инженером с большой буквы. Сегодняшний руководитель Ленметрогипрот-

ранса Маслак Владимир Александрович также много делает для института. Его большая заслуга в том, что коллектив обновляется, молодеет, в проектировании метрополитена участвуют молодые талантливые инженеры, а это залог успешного будущего любой организации. Нельзя не отметить руководителя архитектурной группы Бойцова Дмитрия Анатольевича. Из-под его «пера» выходят макеты станций, достойные по своей художественной ценности нашего великого города.

Я поздравляю наш ленинградский-петербургский проектный институт со славной датой – 70-летием со дня основания! У нас, у проектировщиков и метростроителей, есть свои особые праздники. Это применение новых технологий и механизмов, сбойки тоннелей и, конечно же, открытие новых станций. От имени руководства Метростроя желаю Ленметрогипротрансу знаковых событий в жизни института и коллектива, ведь именно на них полностью ощущаешь профессиональную гордость за свой труд, видишь результат и понимаешь, что трудился не зря. Спасибо вам, дорогие коллеги, за наш метрополитен. Благодаря вашему таланту и смелости Санкт-Петербург год от года получает тот качественный объект, который так необходим нашему городу и его жителям. С юбилеем!



Северомурыйский тоннель



Новороссийский тоннель

НА ПУТИ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

В. Б. Болтинцев, д. т. н., ЗАО «НПФ «Геодизонд»

В. Н. Ильяхин, ЗАО «НПФ «Геодизонд»

История становления ЗАО «НПФ «Геодизонд» как организации, в настоящее время активно участвующей в процессах геотехнического мониторинга при сопровождении строительства горных выработок, началась в 1996 г., когда передовой отряд специалистов ОАО «Ленметрогипротранс» (К. П. Безродный, С. Я. Нагорный, А. И. Салан, В. Н. Соловьев) стал внедрять новые подходы в область тоннелестроения, направленные, в первую очередь, на обеспечение безопасности при проведении горнопроходческих работ.

Надежность функционирования тоннелей метрополитена зависит как от качества проектирования, так и от своевременного учета всех факторов при строительстве объекта. Полная и достоверная информация характеристики грунтов предопределяет качество проектирования, а учет изменений в процессе проходки обеспечивает повышенную надежность инженерных сооружений, разрабатываемых и реализуемых ОАО «Ленметрогипротранс».

Тем ценнее оказывается вклад геофизических методов исследования грунтов, которые применяются в практике строительства в течение последних 20 лет. Одним из перспективных геофизических методов является георадиолокация методом электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования (ЗАО «НПФ «Геодизонд»). Наибольшим успехом своего участия в комплексном геотехническом мониторинге подземного пространства НПФ «Геодизонд» считает исследования, проводимые совместно с ОАО «Ленметрогипротранс» в тоннелях, разрабатываемых с помощью ТПМК. Необходимость получения оперативной информации о состоянии горного массива впереди забоя при высоких скоростях проходки выработки и возможность работы метода в сложных условиях строительства тоннелей придают методу ЭМИ СШП зондирования особую ценность.

Еще один тип объекта ОАО «Ленметрогипротранс», успешно обследуемого данным методом георадиолокации, – стенки эскалаторных тоннелей и вентиляционных шахт, когда требуется оценить качество исполнения «стены в грунте».

Одновременно с выполнением сложных исследовательских работ, которые НПФ «Геодизонд» выполняла по заданию ОАО «Ленметрогипротранс» на таких объектах, как тоннели перегона между станциями «Лесная» и «Площадь Мужества» в Санкт-Петербурге; транспортные тоннели совмещенной автомобильной и железной дороги Адлер – «Альпика-Сервис»; двухпутный перегонный тоннель метрополитена Фрунзенского радиуса в Санкт-Петербурге и др., шло развитие и в методологии ЭМИ СШП зондирования, и в дальнейшей разработке теоретических основ геофизического метода. Напомним, что одним из центральных параметров, служащих идентификации при помощи георадиолокации того или иного геологического материала, является диэлектрическая проницаемость (ϵ). Для увеличения точности и простоты процесса дешифрирования результатов ЭМИ СШП зондирования были решены следующие задачи:

- оптимизация приемо-передающих антенн комплекса, постоянная диагностика традиционных и усовершенствованных моделей;

Геофизические измерения впереди забоя на ТПМК



ЭМИ СШП исследования сплошности «стены в грунте» по периметру котлована



- включение в процесс обработки данных новых математических и статистических показателей для оценки функций отраженных сигналов;

- совместная работа со специализированными лабораториями по сопоставлению геоэлектрических параметров зондирования и фактически измеренных величин диэлектрической проницаемости в различных грунтах.

Благодаря геофизическим работам по заданию ОАО «Ленметрогипротранс» на подземных затопленных сооружениях Рогунской ГЭС был дан толчок развитию подводного варианта комплекса ЭМИ СШП зондирования. Совместные с институтом инженерно-геологические изыскания на горных участках будущей транспортной магистрали олимпийских объектов в г. Сочи способствовали созданию «пилотной» версии аэровоздушного (самолетного) комплекса геофизического зондирования для обследования местности с борта летательных аппаратов.

Специалисты ЗАО «НПФ «Геодизонд» во главе с разработчиком метода, доктором технических наук В. Б. Болтинцевым, успешно решают диктуемые временем и конкретными условиями задачи. Результаты теоретических разработок в области ЭМИ СШП зондирования и их практические воплощения в инженерно-геологических изысканиях при строительстве многочисленных тоннелей с участием ОАО «Ленметрогипротранс» докладывались на различных российских и Международных научно-практических конференциях, в частности: «Инженерная геофизика 2011», (г. Москва); «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли» (2011, г. Новосибирск); «Основные направления развития инновационных технологий при строительстве подземных сооружений на современном этапе. Тенденции. Проблемы. Перспективы» (2012, г. Москва); «Опоры и фундаменты для умных сетей: инновации в проектировании и строительстве» (2016, г. Санкт-Петербург).

Сегодня можно говорить о том, что решен ряд новых научно-технических и инженерных задач, совершенствующих методику подповерхностного ЭМИ СШП зондирования и способствующих более активному применению данного метода в освоении подземного пространства. Однако как от самого метода, так и от предприятия ЗАО «НПФ «Геодизонд» жизнь требует движения вперед. Располагая современной научно-технической базой, профессиональным составом специалистов и опытными сотрудниками, ЗАО «НПФ «Геодизонд» уверено, что ОАО «Ленметрогипротранс» будет всячески содействовать развитию метода ЭМИ СШП, дабы совместно продолжать успешно решать задачи качественных инженерно-геологических исследований при строительстве подземных горных выработок как на территории Российской Федерации, так и за рубежом.



ОБ УСЛОВИЯХ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХПУТНЫХ ТОННЕЛЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРОПОЛИТЕНА В МОСКВЕ

В. Е. Меркин, д. т. н., проф., ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»
И. Н. Хохлов, инженер, ООО «НИЦ Тоннельной ассоциации»

В рамках реализации программы строительства Московского метрополитена до 2020 г. предусмотрены участки линий с двухпутными тоннелями, сооружаемые с применением тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) и сборной железобетонной обделкой.

Основными преимуществами использования двухпутных тоннелей в сравнении с однопутными, что обуславливает их все более широкое применение в метростроении мегаполисов разных стран (например, см. табл.), являются:

- возможность «сквозной», независимо от готовности котлована промежуточной станции, проходки;
- возможность сооружения или достройки станционного комплекса при наличии действующего перегонного тоннеля;
- отсутствие межтоннельных сбоек (эвакуационных, вентиляционных и др.);
- возможность сокращения размеров станции в плане за счет компактного размещения пристанционных сооружений (СТП, БТП и пр.);
- уменьшение воздействия на окружающую среду за счет меньшей зоны влияния.

При сооружении станционных комплексов линии Верххан в Дюссельдорфе использовалась технология «top-down», позволившая вести строительные работы без перерыва движения надземного транспорта [1]. Плиты покрытия станций устраивались последовательно с одной и другой стороны проезжей части на предварительно возведенных «стенах в грунте» глубиной около 42 м. После сооружения плиты покрытия и возобновления движения, на данном участке дороги выполнялась разработка центрального ядра станции (рис. 1).

Обделка тоннелей толщиной 450 мм состояла из восьми блоков (семь плюс один замковый, рис. 2). Скорость продвижения ТПМК в среднем составила 10–15 м/день (300–450 м/мес), что обеспечило сооружение участка закрытого способа работ длиной 2,3 км за восемь месяцев.

Продление линий метрополитена г. София велось в несколько этапов с 2009 по 2012 г. [2]. При этом планировалось ввести в эксплуатацию 6,4 км тоннелей и семь станций.

Тоннели на участке протяженностью 3,8 км от станции «Надежда» до станции «Патриарх Евтимий» имели внутренний диаметр 8,43 м (рис. 3). На данном участке предусматривалось сооружение четырех станций.

Примеры строительства двухпутных тоннелей на линиях метрополитена за рубежом (по данным открытой печати)

Метрополитен	Диаметр (тип пригруза) ТПМК, м	Длина тоннеля, км
Дюссельдорф, Wehrhahn Line (с 2007 по 2015 г.) 843 млн евро	9,49 (грунтопригруз)	2,25
София, Линия 2	9,07 (гидропригруз)	3,8
Порто	8,9 (грунтопригруз)	2,6
Сан-Паулу, Metro line 5	10,6 (грунтопригруз)	5,7
Мадрид	9,37 (грунтопригруз)	33,1
Каир, линия 3	9,46 (миксцит)	5,1
Хихон	9,6 (грунтопригруз)	3,9
Рим, линия В1	10,55 (грунтопригруз)	6,95
Бrescia	9,15 (грунтопригруз)	5,34
Марсель	9,755 (грунтопригруз)	1,965
Лион, линия В	9,43 (грунтопригруз)	1,8
Барселона	12,06 + 9,37 (грунтопригруз)	12,3 + 12,12

Станции сооружались открытым и полукрытым способами (рис. 4а). Участок проходки тоннелей под площадью Св. Воскресения – способом NATM (рис. 4б).

После завершения строительства и ввода линии в эксплуатацию был оценен социальный эффект от изменения транспортной ситуации в городе, охарактеризованный следующими показателями:

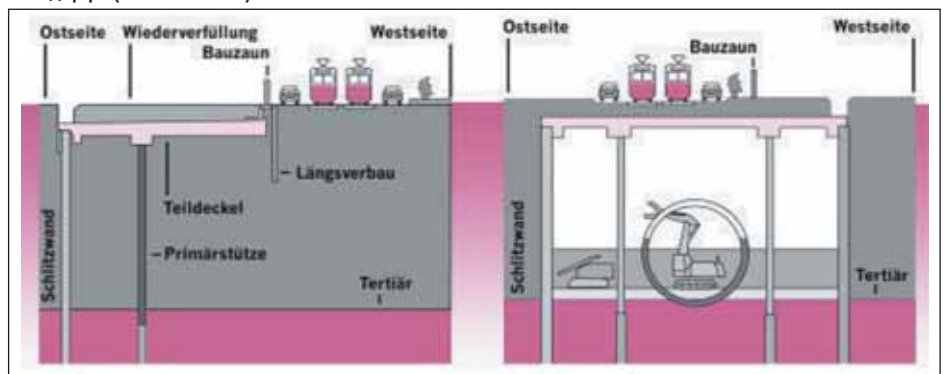
- число пассажиров в сутки, перевозимое по линии – 280 тыс. чел./день;
- снижение загруженности системы общественного транспорта – 24 %;
- снижение количества наземного транспорта – 18 %;
- снижение количества дорожных происшествий – 12 %;
- снижение выбросов вредных газов в атмосферу – 59 тыс. т;

• экономия времени пассажиров при передвижении по городу – 75 тыс. ч.

Проект строительства линии 9 в Барселоне (L9) стоимостью 6500 млн евро являлся важнейшим проектом для развития транспортной инфраструктуры города [3, 4, 5]. Для его реализации были предусмотрены инновационные решения, в том числе адаптация для маломобильных групп населения, отделяющие платформенную часть от путевой, и работающие в автоматическом режиме защитные двери на станциях.

L9 имеет протяженность около 47 км, соединяя аэропорт и несколько соседних городов. Проектом предусматривалось сооружение участков линии с двухпутными тоннелями: 26,4 км тоннелей диаметром 12 м с параллельным расположением путей (рис. 5а) и 11,9 км диаметром 9,4 м

Рис. 1. Последовательность сооружения станции полукрытого способа работ линии Верххан в Дюссельдорфе (2007–2015 гг.)



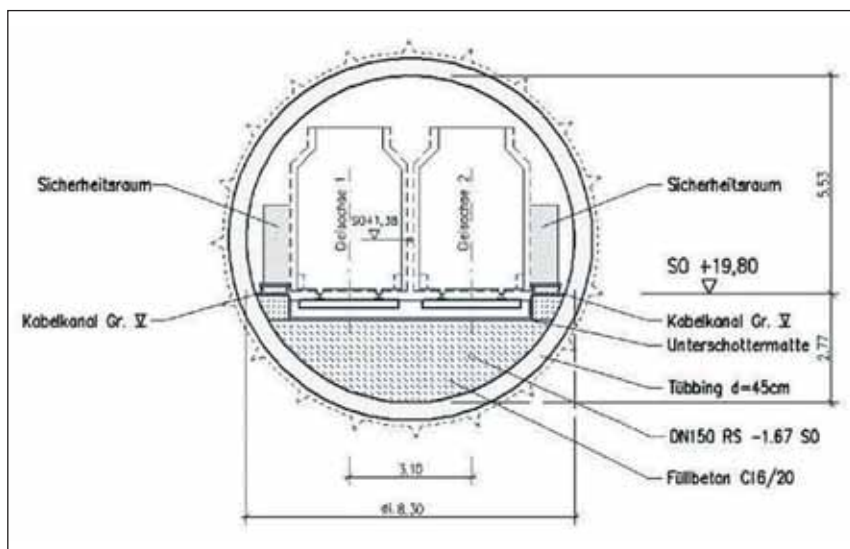


Рис. 2. Поперечное сечение двухпутного тоннеля метрополитена линии Верххн в Дюссельдорфе (2007–2015 гг.)

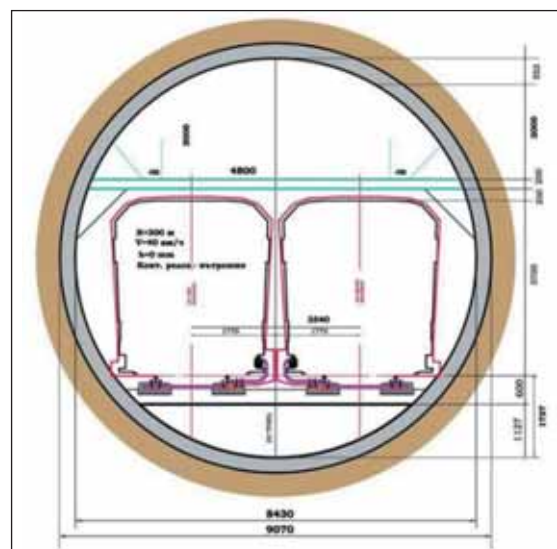


Рис. 3. Поперечное сечение двухпутного тоннеля при строительстве линии 2 в Софии (2009–2012 гг.)

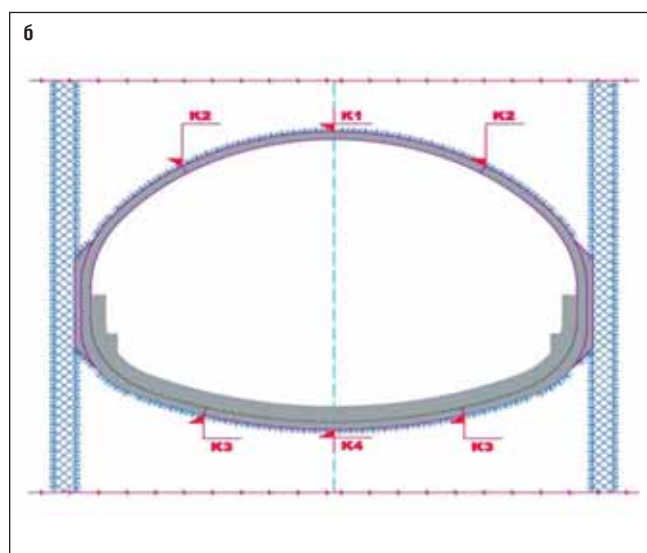
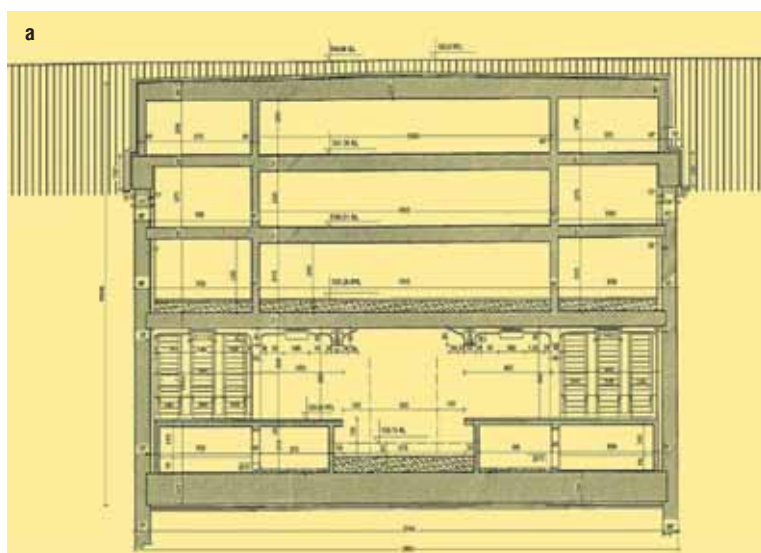


Рис. 4. Сооружение станций в г. София открытым (а) и способом NATM (б)

с расположением путей в двух уровнях (рис. 5б).

Нетиповым является также конструктивное решение станции, которая имеет боковое расположение по отношению к перегонному тоннелю и специальные проходы для пропуска пассажиров на платформу (рис. 6).

В Российской Федерации опыт применения двухпутных тоннелей метрополитена с помощью ТПМК пока ограничен сооружением в Санкт-Петербурге тоннеля внутреннего диаметром 9,4 м (рис. 7) на Фрунзенском радиусе от станции «Южная» до «Прспекта Славы» [8].

Здесь однако будет уместно отметить, что в Москве в начале XXI в. с применением ТПМК с гидропригрузом диаметром 14,2 м и сборной железобетонной обделкой были успешно пройдены в природоохранных зонах Лефортовский автодорожный тоннель и комплекс Серебряноборских тоннелей для совмещенного движения автотранспорта и поездов метрополитена длиной более 2 км каждый [6].

Несмотря на отмеченные выше преимущества при использовании двухпутных тоннелей в сравнении с однопутными, для их эффективного применения в условиях Москвы необходимо решение ряда вопросов, в том числе:

- определение области рационального применения двухпутных тоннелей и станций с боковыми платформами, учитывая существенно большие (в 2–3 раза) длины перегонных тоннелей в «старой» Москве, чем в мегаполисах Запады, наличие плотной городской застройки и густой сети подземных коммуникаций в центральных районах города, беспрецедентно высокие

Рис. 5. Размещение путей в тоннеле: а – параллельно; б – в двух уровнях

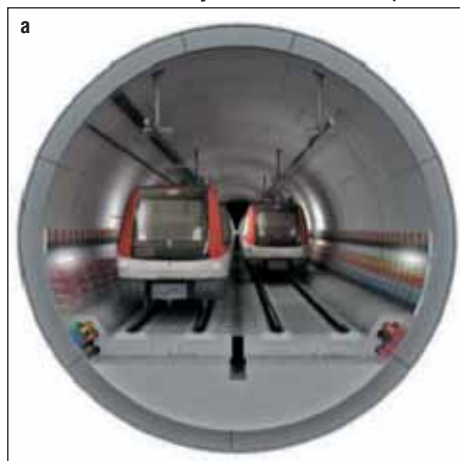




Рис. 6. Общий вид станции с боковым примыканием к тоннелю

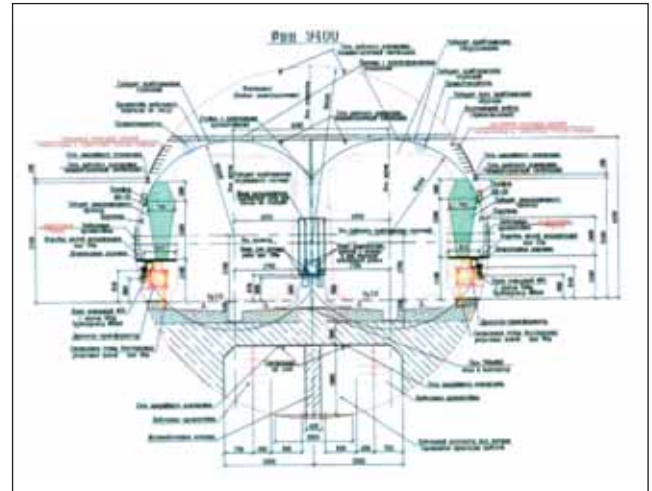


Рис. 7. Поперечное сечение двухпутного тоннеля метрополитена в Санкт-Петербурге



Рис. 8. Общий вид ТПМК $D_{нар} = 10,82$ м для сооружения двухпутных тоннелей в Москве

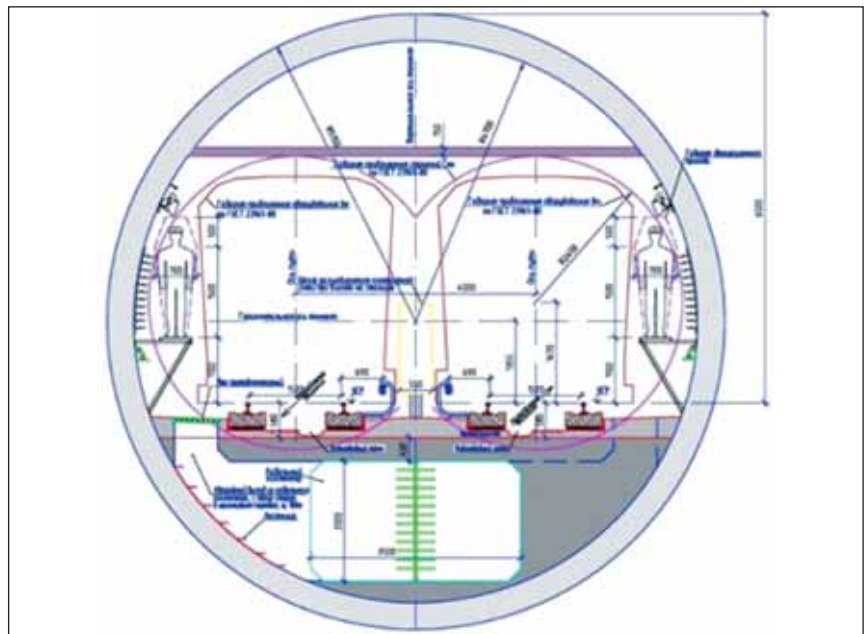


Рис. 9. Обделка двухпутного тоннеля в Москве

пассажиропотоки и интенсивность движения поездов;

- правомерность использования при проектировании двухпутных тоннелей габаритов приближения строений по ГОСТ 23961-80 «Метрополитены. Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава», разработанных для однопутных тоннелей кругового или прямоугольного очертания;
- определение типов и конструктивных параметров обделки для характерных условий строительства и эксплуатации тоннелей в Москве;
- учет особенностей эксплуатации линий с двухпутными тоннелями при проектировании инженерных систем и других постоянных устройств;
- разработка методики оценки социально-экономической эффективности сооружения участков линий с двухпутными тоннелями.

Для практической реализации в Москве новой технологии по разработанной НИЦ ОПП АО «Мосинжпроект» технической документации на заводе АО «Моспромжелезобетон» с ноября 2015 г. начато изготовление

водонепроницаемой сборной железобетонной обделки $D_{нар}/D_{вн} = 10,5/9,6$ м, предназначенной для сооружения с помощью ТПМК фирмы «Herrenknecht AG» с грунтопригрузом $D = 10,82$ м (рис. 8, 9 [7]) участков Кожуховской линии. В апреле 2016 г. блоки были испытаны в ОАО «НИИМосстрой» (рис. 10) и сертифицированы.

На основании проведенного анализа определено следующее:

- минимальный внутренний диаметр двухпутных тоннелей при наличии нормативных радиусов кривых в плане и профиле может составлять 9,2 м с учетом обеспечения габаритов приближения строений и оборудования (рис. 11);
- станции открытого способа работ с боковыми платформами за

счет компактного размещения пристанционных сооружений (СТП, БТП и пр.) могут иметь существенно меньшие размеры в плане: длину не более 200 м и переменную ширину от 17,6 до 26,2 м (рис. 12);

- эффективность реализации проектов строительства линий метрополитена оценивается по совокупности затрат на строительство и эксплуатацию, устранение возмож-

Рис. 10. Испытание обделки на стенде АО «НИИМосстрой»



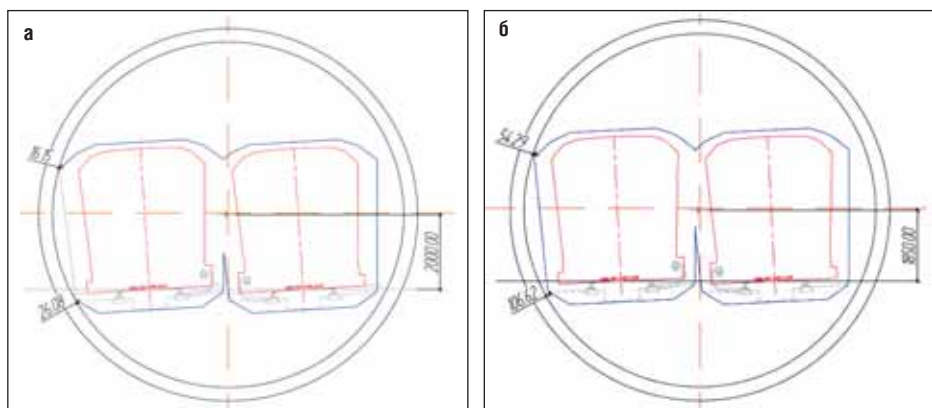


Рис. 11. Поперечное сечение двухпутного тоннеля $D_{\text{вн}} = 9,2$ м с габаритами приближения строений: а – для Р-600, привязка к УГР 2000 мм, возвышение рельса 100 мм; б – для Р-800, привязка к УГР 1850 мм, возвышение рельса 80 мм

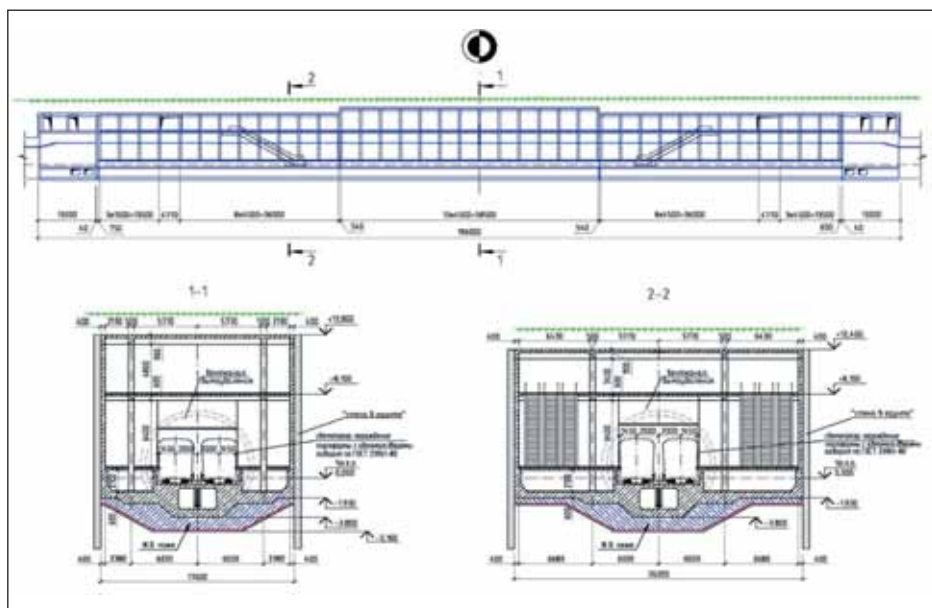


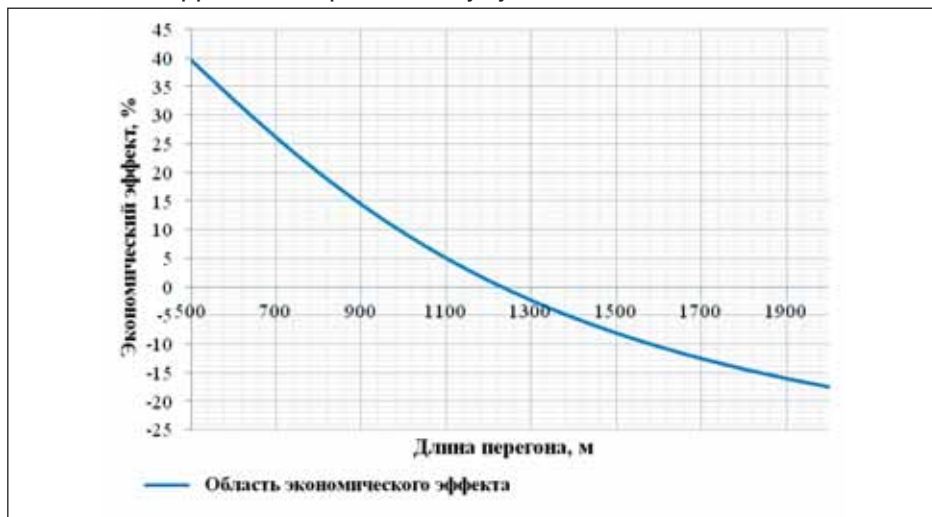
Рис. 12. Принципиальная схема станции с боковыми платформами

ных негативных последствий, связанных со строительством и эксплуатацией объекта, а также на соответствие требованиям потребителя и минимизацию воздействия объекта на окружающую среду.

В отечественной практике до недавнего времени эффективность строительства ли-

ний метрополитена оценивалась на основании технико-экономического обоснования (ТЭО), являвшегося, по существу, предпроектным документом, определяющим основные показатели строительства по варианту, выбранному путем сравнения затрат, в основном на строительство.

Рис. 13. К оценке эффективности строительства двухпутных тоннелей



Представляется, что учет социальных показателей эффективности при сравнении традиционных и предлагаемой технологии может оказаться решающим в случае, если показатели экономической эффективности сооружения участков линий с однопутными и двухпутными тоннелями не будут приводить к большим различиям.

Ориентировочный сравнительный анализ стоимости строительства позволяет, в первом приближении, охарактеризовать эффективную область применения двухпутных тоннелей с использованием ТПМК и сборной железобетонной обделки на линиях метрополитена следующим образом (рис. 13): сокращение затрат от 40 до 10 % при длине перегона от 500 до 1000 м и менее 10 % при длине перегона от 1000 до 1250 м. При длине перегона более 1250 м стоимость сооружения участка линии с двухпутными тоннелями становится дороже, чем с однопутными.

Необходимо отметить определенную условность приведенных результатов сравнительной оценки эффективности строительства участков метрополитена с двухпутными и однопутными тоннелями. Наличие фактических данных по проходкам в Санкт-Петербурге и Москве позволит более полно и точно охарактеризовать область эффективного применения рассматриваемой технологии.

Список литературы

1. Pabler I., Danieli St. Wehrbahn Line in Dusseldorf: Planning, Design and Execution // Tunnel 04/2010, pp. 53–69, 2010.
2. Operational Programme «Transport» Sofia Metro Extension Project – Режим доступа: <http://www.metropolitan.bg/en/trans/>.
3. Bote R., Schwarz H., Gens A. Construction of a new Metro line in Barcelona: design criteria, excavation and monitoring system // Geotechnical aspects of underground construction in Soft Ground. Proceedings of the 5th International conference of TC28 of the ISSMGE, the Netherlands, 15–17 June 2005.
4. Marta Filbaa, Josep Maria Salvany, Jordi Jubany, Laura Carrasco Tunnel boring machine collision with an ancient boulder beach during the excavation of the Barcelona city subway L10 line: A case of adverse geology and resulting engineering solutions // Engineering Geology, Vol. 200, pp. 31–46, 2016.
5. Truini W. The big dig: Barcelona's metro line 9 – Режим доступа: <http://www.barcelona-metropolitan.com/features/the-big-dig-barcelonas-metro-line-9/>.
6. Дихтярук О. В., Хаметова В. В. Крупнейшая транспортная система – метро и автодорога в одном тоннеле // Метро и тоннели – 2007, № 6 – с. 2–5.
7. Соломатин Ю. Е., Хохлов И. Н. Сборная водонепроницаемая обделка из высокоточных блоков для двухпутных тоннелей Московского метрополитена // Метро и тоннели – 2016, № 2 – с. 18–23.
8. Пугиняк Е. И. Два в одном // Метро и тоннели – 2015, № 4 – с. 4–6.
9. <http://tunnellingjournal.com/news-tracker/>.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

А. Г. Протосеня, профессор, д. т. н., кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений, Санкт-Петербургский горный университет

М. А. Карасев, доцент, к. т. н., кафедра строительства горных предприятий и подземных сооружений, Санкт-Петербургский горный университет

Развитие деформаций земной поверхности при строительстве подземных сооружений в условиях плотной городской застройки может оказать негативное влияние на здания и сооружения, расположенные на поверхности земли, а также другие объекты городской инфраструктуры. Величина этого воздействия определяется инженерно-геологическими условиями строительства, геометрическими параметрами подземных сооружений, принятой технологией строительства, жесткостью временной крепи и постоянной обделки, а также рядом других факторов. Прогноз деформаций земной поверхности при строительстве подземных сооружений позволяет еще на стадии проектирования выявить потенциально опасные участки на земной поверхности, где деформации превышают предельно допустимые значения для расположенных на этом участке объектов и разработать мероприятия по снижению негативного воздействия строительных работ. Достоверность прогноза деформаций земной поверхности определяется принятыми расчетными методами, которые можно разделить на те, которые позволяют определить только границы мульды оседания, и те, которые позволяют выполнить детальный прогноз с учетом пространственной конфигурации подземного сооружения, принятой последовательности его строительства, учета фактических данных об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях. Каждый из рассмотренных методов внес значительный вклад в становление и развитие теории прогноза деформаций земной поверхности и имеет свою область эффективного применения.

В работе рассмотрены вопросы развития методов прогноза оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений, а также уделено внимание современным методам расчета и практике прогноза деформаций земной поверхности при строительстве станционных комплексов в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

Этапы развития методов прогноза оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений

Строительство подземных сооружений, независимо от применяемой технологии их сооружения, вызывает развитие дефор-

маций земной поверхности. Это связано с тем, что процесс строительства приводит к изменению напряженного состояния породного массива, которое влечет за собой деформирование окружающего породного массива и смещение контура подземного сооружения. Активность этих процессов зависит от принятой технологии строительства подземного сооружения (щитовой способ строительства, разновидности горного способа строительства), а также инженерно-геологических условий.

Можно выделить следующие стадии развития деформаций земной поверхности.

1. Мгновенные осадки, вызванные строительством тоннеля, и их величина зависят от устойчивости лба забоя, скорости ведения проходческих работ, времени, необходимого для установки обделки, и, в случае использования щитовых комплексов, времени, необходимого на тампонаж пространства между обделкой и породой. Мгновенные осадки вдоль продольной оси тоннеля начинаются на некотором расстоянии впереди лба забоя и прекращаются после твердения и набора прочности тампонажного раствора.

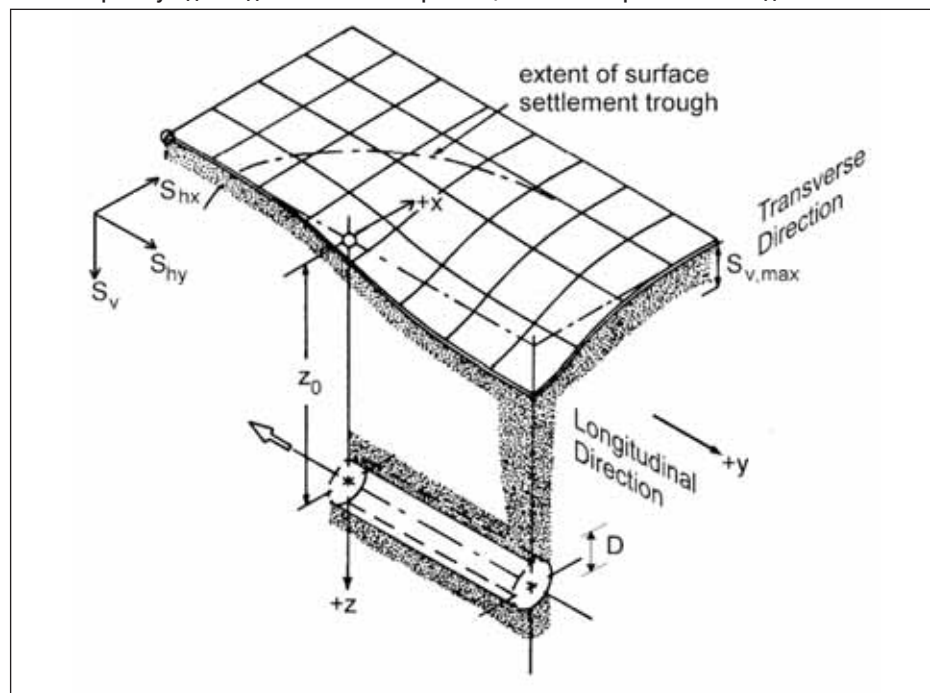
2. Осадки, вызванные деформациями тоннельной обделки. Особенное внимание

данному фактору необходимо уделить при строительстве тоннелей или подземных сооружений большого поперечного сечения. Однако осадками такого типа можно пренебречь, если для строительства тоннеля используется щитовой комплекс, нагрузки на обделку которого можно спрогнозировать с достаточной точностью, а значительных величин деформаций обделки можно избежать за счет грамотного выбора ее параметров.

3. Длительные осадки, вызванные первичной консолидацией грунтов (обычно к этому склонны связные или уплотняемые грунты в процессе рассеивания избыточного порового давления) и вторичной консолидации грунтов (ползучесть грунтов, величина которой зависит от скорости, с которой уплотненный грунтовый скелет может сжиматься и течь). Как показывает опыт, наибольший негативный вклад вносит развитие осадок земной поверхности на первой и второй стадиях, в то время как увеличение осадок на третьей стадии сопровождается снижением кривизны мульды оседания.

Точная форма мульды оседания земной поверхности, вызванная строительством подземных сооружений, зависит от многих

Рис. 1. Форма мульды оседания земной поверхности, вызванная строительством одиночного тоннеля



факторов, но в общем виде для одиночного тоннеля может быть представлена в виде поверхности, предложенной Агтевелем и Вудмэном (рис. 1) и представлена в виде следующей аналитической функции:

$$S_v(x, y) = \frac{V_s}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot i_x} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i_x^2}} \cdot \left(G \cdot \left(\frac{y - y_i}{i_x} \right) - G \cdot \left(\frac{y - y_f}{i_x} \right) \right), \quad (1)$$

где $S_v(x, y)$ – величина осадки земной поверхности в точке с координатами (x, y) ; x – расстояние от рассматриваемой точки до продольной оси тоннеля; y – координата точки по продольной оси тоннеля; V_s – полезный объем мулды оседания земной поверхности; y_i – начальное положение тоннеля; y_f – расположение лба забоя; i_x – ширина мулды оседания; G – функция распределения.

Однако на практике столь сложная поверхность оседания земной поверхности использовалась редко и заменялась функцией, которая характеризует мулду оседания земной поверхности в поперечном направлении и является частным случаем общего уравнения. Такая функция впервые была предложена Шмидтом и Пеком и представляла собой функцию нормального распределения (функцию Гаусса):

$$S_v(x) = S_{v, \max} \cdot e^{-\frac{x^2}{2i_x^2}}, \quad (2)$$

где $S_{v, \max}$ – величина максимальной осадки земной поверхности над продольной осью тоннеля; x – расстояние от центра тоннеля до рассматриваемой точки; i_x – расстояние от центра тоннеля до точки перегиба.

В дальнейшем были предложены и другие математические зависимости, полученные на основании обработки результатов натурных наблюдений за оседанием земной поверхности в конкретных инженерно-геологических условиях. Так, в отечественной практике наибольшее распространение получила функция Аверсина:

$$S_v(x) = S_{v, \max} \cdot \left(1 - \frac{x}{L} \right) e^{\left(\frac{4x}{L} \right)}, \quad (3)$$

где L – длина мулды оседания земной поверхности.

Величину максимального оседания земной поверхности $S_{v, \max}$ можно найти из объема грунта V_s , заключенного между начальным положением земной поверхности и кривой, описывающей характер ее оседания после проведения проходческих работ на единицу ее длины, который для функции, предложенной Пеком, определяется как:

$$V_s = \int_{-\infty}^{+\infty} S_v(x) dx = \sqrt{2 \cdot \pi} \cdot i_x \cdot S_{v, \max}. \quad (4)$$

В дополнение к объему мулды оседания единичной длины V_s , введем понятие потери объ-

ема сечения тоннеля V_t . Потерянный объем сечения тоннеля можно определить, как разницу между начальным объемом одного метра длины тоннеля и конечным объемом одного метра длины тоннеля, после того, как все радиальные смещения контура тоннеля реализовались. Величины объемов V_s и V_t могут быть как равны друг другу, так и несколько отличаться друг от друга как в большую, так и меньшую сторону. Это определяется инженерно-геологическими условиями строительства. Так, например, если строительство тоннеля выполняется в грунтах, деформация которых идет по недренированной схеме, то объем V_t приблизительно равен объему V_s . Если же грунты испытывают дилатансионный характер деформирования в окрестности подземного сооружения, то в этом случае значение V_t обычно больше V_s . Если наблюдается обратная картина, грунты доуплотняются в процессе деформирования, то значение V_t может быть меньше V_s . Однако в любом случае разница между этими объемами невелика, и с практической точки зрения рациональным является принять их равными друг другу.

Удобным является представить потерянный объем сечения тоннеля в зависимости от размера поперечного сечения тоннеля. Тогда значение коэффициента GLR , характеризующего относительное значение потерянного объема сечения тоннеля, выразим как:

$$GLR = \frac{V_t}{A_t} \approx \frac{V_s}{A_t}, \quad (5)$$

где A_t – объем одного метра поперечного сечения тоннеля.

Из уравнений (4) и (5) следует:

$$S_{v, \max} = \frac{A_t}{i_x \sqrt{2 \cdot \pi}} GLR, \quad (6)$$

$$S_v(x) = \frac{A_t}{i_x \sqrt{2 \cdot \pi}} GLR e^{-\left(\frac{x^2}{2i_x^2} \right)}. \quad (7)$$

Таким образом, для того чтобы определить величины деформаций на земной поверхности, необходимо определить на сколько изменится объем одного метра длины сечения тоннеля. Основные усилия исследователей были направлены на определение показателя GLR и показателей, характеризующих размер и кривизну мулды оседания земной поверхности L и i_x , для чего использовались как методики, основанные на результатах натурных наблюдений, так и различные аналитические подходы, основанные на строгом решении уравнений механики сплошной среды.

Основателем отечественной школы прогноза оседания земной поверхности является Ю. А. Лиманов, который в 1957 г. разработал методику расчета ожидаемых осадок земной поверхности при сооружении тоннелей в кембрийских глинах, чему предшествовал этап натурных и экспериментальных исследований. Его методика основана на решении уравнений теории упругости для оди-

ночной выработки, расположенной в изотропном породном массиве (протерозойская глина), над которым расположен слой слабых четвертичных отложений. В последующих исследованиях методика, предложенная Ю. А. Лимановым, была расширена В. П. Матвеевой, которая ввела учет реологических свойств протерозойских глин, В. Ф. Подаковым, который ввел в расчетную методику третий слой грунта, переходной слой протерозойских глин, а также В. П. Хуцкий, который предложил для учета реологических процессов воспользоваться теорией линейной наследственной ползучести. Выполненные авторами исследования стали основой для последующей разработки нормативного документа «Пособие по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горнопроходческих работ при строительстве метрополитена», которое и по сей день является действующим. Рассматривая методики прогноза для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга, нельзя не упомянуть метод прогноза оседания земной поверхности М. В. Долгих, которым был предложен эмпирический подход к расчету деформаций земной поверхности при сооружении тоннелей, колонных и односводчатых станций метрополитена. Одними из последних исследований в области прогноза деформаций земной поверхности для условий Санкт-Петербурга, которые внесли значительный вклад в развитие общей теории прогноза оседания земной поверхности, являются исследования, выполненные Е. М. Волоховым, который в рамках уравнений механики сплошной среды получил решение, позволяющее учесть анизотропию деформационных свойств протерозойских глин при расчете деформаций породного контура подземного сооружения. Он показал эффективность применения представленной методики для прогноза деформаций земной поверхности при строительстве станций метрополитена различной конфигурации.

Из зарубежных исследователей можно выделить уже отмеченных выше Пека и Шмита, а также Агтевеля и Вудмена, которые сформулировали основы метода прогноза деформаций земной поверхности, исходя из величины изменения поперечного сечения тоннеля. Последующие исследования, выполненные другими авторами, позволили этот метод в области прогноза деформаций земной поверхности при строительстве нескольких тоннелей, при строительстве тоннелей в смешанных геологических условиях, а также уточнили величины показателей и для различных инженерно-геологических условий и принятой технологии строительства. В области аналитических исследований можно выделить работу Сагасета, получившую дальнейшее развитие в работах Верруита и Букера, где рассматривался расчет деформаций земной поверхности для изотропной несжимаемой среды. В решении Рове и Ли была выполнена попытка учесть

технологии строительства одиночного тоннеля, которая в дальнейшем получила развитие в работах Логанафена и Поулоса.

В работе не рассматриваются достоинства и недостатки каждой из представленных выше методик отдельно, так как каждая из них соответствовала определенному этапу развития науки и техники. Однако в целом можно отметить, что практически все представленные методы достаточно опосредованно учитывают реальный характер деформирования грунтов, рассматривают сооружения в плоской постановке, а последовательность их строительства на развитие напряженного состояния либо не учитывают, либо учитывают через набор коэффициентов, методика определения которых весьма неоднозначна или отсутствует. То есть, представленные выше методики могут лишь весьма условно применяться для прогноза деформаций земной поверхности при строительстве сложных пространственных подземных сооружений, когда развитие деформаций их контура стараются ограничить за счет организации различных мероприятий, например, таких, как передовое крепление лба забоя, ввод обделок в работу до полной реализации деформаций породного контура, выполнение тампонажных работ сразу за подвиганием забоя и т. д. Таким образом, на современном этапе развития инженерного дела недостаточно только получить пессимистичный

сценарий развития деформаций при строительстве подземных сооружений, а необходим инструмент, который бы позволял оценить влияния различных мероприятий, направленных на снижение деформаций земной поверхности. Эмпирические, полуэмпирические и аналитические методы прогноза деформаций земной поверхности не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к расчетным инструментам для практического проектирования. Необходимо было найти новые подходы к прогнозу деформаций земной поверхности, которые бы соответствовали современным реалиям проектирования.

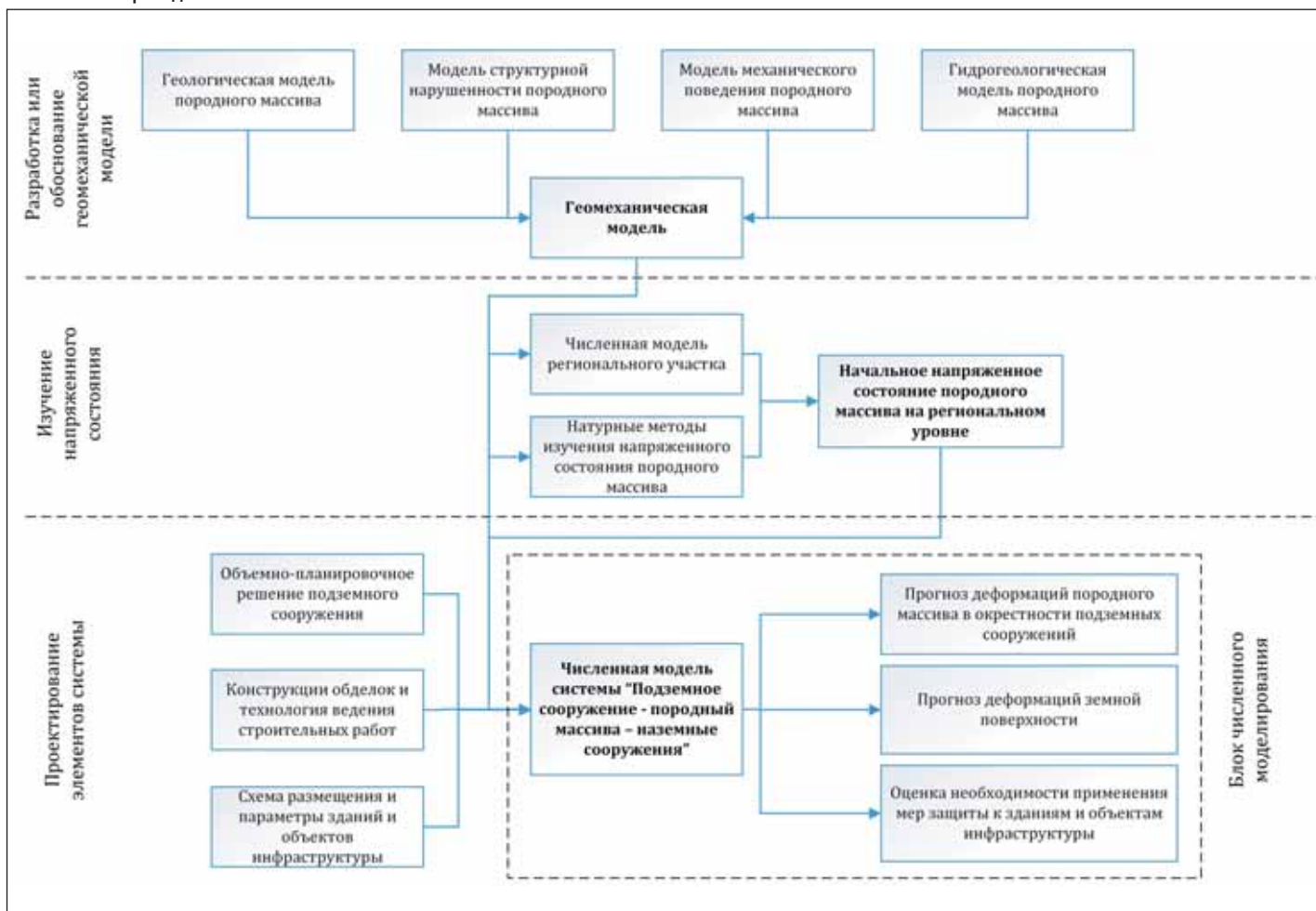
Современные методы прогноза оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений

На современном этапе развития прогноза деформаций земной поверхности при строительстве подземных сооружений отдается предпочтение численным методам анализа, которые реализованы в виде программных продуктов для решения задач механики грунтов, горных пород и тоннелестроения. Это, как специализированные программные комплексы для выполнения прогноза геомеханических процессов, такие как Plaxis, Z-Soil, FEM-models, Flac, RS2/3, DIANA, SOFISTIK и др., так и программные комплексы для выполнения прочностного анализа в различ-

ных областях инженерного дела Abaqus, Ansys, Adina и др. Прогноз деформаций земной поверхности с применением численных методов анализа лишен недостатков, присущих эмпирическим и аналитическим методам. По сравнению с эмпирическими методами расчета результаты, получаемые на основании численного моделирования, не привязаны к конкретным условиям и могут быть распространены для достаточно широкого диапазона как инженерно-геологических, так и технических условий строительства подземных сооружений. По сравнению с аналитическими методами расчета, численные методы в значительной степени менее ограничены в формулировке законов поведения среды, геометрических параметров подземных сооружений, а также возможности достоверно учесть последовательность их строительства, то есть количество допущений может быть в значительной степени уменьшено.

В целом прогноз деформаций земной поверхности на основании численного моделирования включает в себя три основных элемента (рис. 2). Первым элементом является геомеханическая модель поведения среды, которая позволяет описать ее механическое поведение и содержит информацию о геологических и гидрогеологических условиях, структурной нарушенности массива, а также основные уравнения механического

Рис. 2. Схема проведения геомеханического анализа



поведения рассматриваемой среды. Вторым элементом, необходимым для корректного выполнения численного моделирования, является информация о начальном поле напряженного состояния, которая для простых условий определяется на основании аналитических зависимостей, а для сложных она может быть получена за счет применения натурных методов исследований начального напряженного состояния и создания численных моделей прогноза напряженного состояния на региональном уровне. Третьим элементом является сама численная модель, которая должна отражать должным образом принятую технологию строительства подземного сооружения и учитывать расположение зданий, сооружений и объектов городской инфраструктуры. Это позволит получить комплексное представление о деформациях породного массива в окрестности рассматриваемого подземного сооружения, оценить характер и величину деформаций земной поверхности с учетом принятых технологических и конструктивных решений и выполнить оценку необходимости применения мер защиты к зданиям и объектам инфраструктуры.

Геомеханическая модель поведения грунтового массива должна учитывать особенности его деформирования во всем диапазоне изменения напряжений и деформаций, от весьма малых, которые характеризуются только упругими деформациями, до больших, которые в основном носят пластический характер. Изменение деформационных свойств в этом диапазоне весьма нелинейно, и может быть задано в виде функции изменения модуля сдвига от достигнутой величины деформаций формоизменения, если задача рассматривается в стационарной постановке или через параметр вязкости среды, если задача рассматривается во временном диапазоне. Это позволит исключить введение искусственного размера сжимаемой

толщи грунта в численную модель и в значительной степени снизить влияние геометрических параметров модели на результаты численного моделирования. Дополнительно может быть учтено влияние средних напряжений на деформационные показатели модели, начального градиента фильтрации на возможность уплотнения пористой структуры грунта, структуры грунта и достигнутых деформаций на естественную и деформационную анизотропию грунта. В основном, в настоящее время, геомеханические модели формулируются в рамках теории пластического или гипопластического течения, как с учетом временного фактора (например, вязкоупругопластические модели), так и рассматривая среду как статически деформируемую, которые в целом позволяют учесть все особенности деформирования среды через набор уравнений.

При создании численных моделей необходимо также учитывать взаимодействие между конструкциями и окружающим породным массивом, а в некоторых случаях и между отдельными элементами обделки. Взаимодействие между элементами численной модели осуществляется через специальные элементы или уравнения связи между отдельными узловыми точками. Развитие численных методов анализа позволило в рамках одной модели рассматривать сложные пространственные подземные сооружения (станционные комплексы, пересадочные узлы станционных комплексов), однако степень детализации рассматриваемых процессов все еще остается на достаточно низком уровне, что объясняется недостаточной мощностью вычислительной техники. Для того чтобы повысить детализацию моделирования строительства таких подземных сооружений предлагается выполнить создание одной глобальной численной модели, которая двусторонне связана с несколькими локальными численными моделями. Глобаль-

ная модель содержит информацию обо всех объектах рассматриваемого подземного сооружения, в то время как локальные модели содержат информацию только об одном из элементов подземного сооружения, количество которых зависит от его пространственной конфигурации. Глобальная модель отвечает за развитие напряженного деформированного состояния по мере строительства отдельных элементов сооружения, в то время как на уровне локальных моделей выполняется моделирование строительства отдельного сооружения с высокой степенью информационной детализации. Как только выполнен расчет на уровне локальной модели, выполняется передача поля напряжений и деформаций от локальной модели к глобальной, и поле напряженно-деформированного состояния глобальной модели обновляется. Далее новое поле напряженного состояния с глобальной модели передается следующей локальной модели и расчет повторяется. Такой процесс выполняется вплоть до полного завершения моделирования строительства сложного пространственного сооружения.

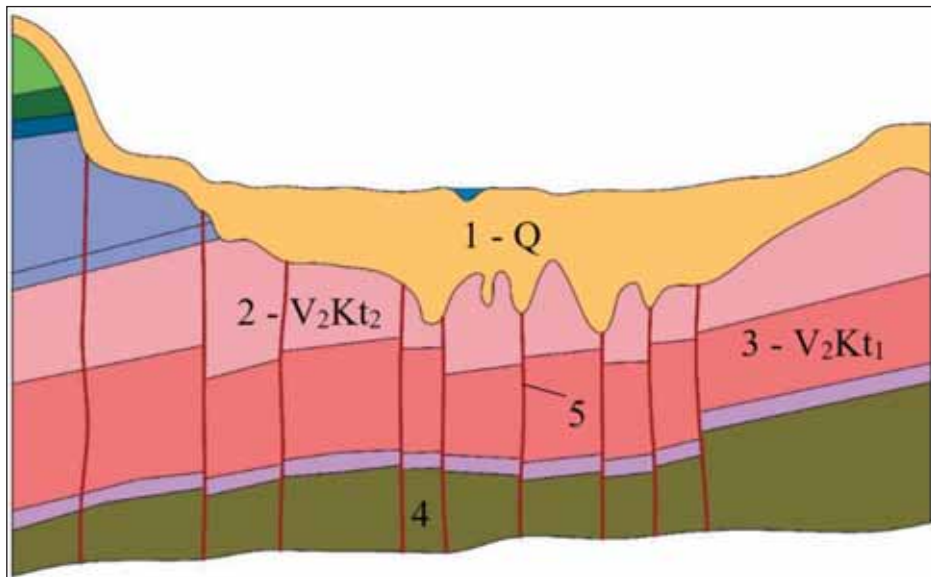
В целом, достоверный прогноз оседания земной поверхности при строительстве подземных сооружений на основании численного моделирования еще нельзя назвать полностью решенной задачей, однако по многим направлениям, усилиями исследователей и инженеров, достигнуты значительные успехи.

Опыт прогноза деформаций земной поверхности при проектировании станционных комплексов Санкт-Петербургского метрополитена

Инженерно-геологические условия Санкт-Петербурга можно условно разделить на четыре слоя (рис. 3). Верхний слой сложен четвертичными отложениями, состоящими из водонасыщенных песков и слабых глинистых грунтов. Ниже расположен слой твердых аргиллитоподобных глин. Подстилающими породами являющиеся водонасыщенные песчаники с прослоями глинистых пород, которые опираются на кристаллические породы. Станционные комплексы Санкт-Петербургского метрополитена преимущественно располагаются в твердых аргиллитоподобных глинах, за исключением станций, расположенных на городских окраинах, и ряда новых станций, строительство которых выполняется на незастроенных участках.

Характерной особенностью твердых аргиллитоподобных глин является их анизотропия прочностных и деформационных свойств. Проведенные лабораторные исследования позволили установить, что деформационные свойства в среднем отличаются в 2,5 раза в направлениях параллельно и перпендикулярно слоистости, а анизотропия прочностных свойств зависит от характера напряженного состояния (табл.). Отличительной особенностью слабых грунтов является их способность изменять свою жесткость в зависимости от величины до-

Рис. 3. Инженерно-геологические условия строительства в Санкт-Петербурге: 1 – четвертичные отложения; 2 – твердые аргиллитоподобные глины; 3 – песчаники с прослоями глин; 4 – прочные породы фундамента; 5 – тектонический разлом



Степень анизотропии прочностных свойств аргиллитоподобной глины

Отношение прочности перпендикулярно слоистости к прочности параллельно слоистости					
Одноосное растяжение	Чистый сдвиг	Одноосное сжатие	Объемное сжатие 0,5 МПа	Объемное сжатие 2,5 МПа	Объемное сжатие 5,0 МПа
2,2	2,1	1,6	1,3	1,2	1,1

стигнутых напряжений или деформаций. Результаты лабораторных исследований показали, что такой же характер взаимосвязи между механическими свойствами наблюдается и в твердых аргиллитоподобных глинистых породах. Отдельное внимание при обосновании механических параметров необходимо уделить структурной нарушенности рассматриваемых глинистых пород, которой достаточно много внимания уделено в работах Р. Э. Дашко.

В качестве модели поведения среды для слоистых геоматериалов, характеризующихся анизотропией прочностных и деформационных свойств, удобно использовать модели, описание которых выполнено в рамках концепции мультислойной среды (multilaminate model), которая ранее нашла широкое применение при формулировке моделей слабых грунтов, бетона и других сред. Данная концепция предполагает, что связь между напряжениями и деформациями осуществляется на локальном уровне, то есть рассматривается микроструктурное взаимодействие между частицами грунта. Деформирование на глобальном уровне определяется суммированием деформаций на локальных уровнях по определенному правилу. Так как локальных площадок, на которых выполняется определение локальных деформаций достаточно много, то механические свойства на каждой площадке могут варьироваться в соответствии с принятой функцией распределения, и таким образом моделировать анизотропию механических свойств в явном виде.

Результаты численного моделирования строительства станционного комплекса на участке его сопряжения с существующей станцией метрополитена представлены в виде эпюр развития деформаций земной поверхности (рис. 4). Как видно, современные средства прогноза деформаций земной поверхности позволяют получить картину деформирования земной поверхности в целом, на различных этапах строительства подземного сооружения, а также его сложной пространственной конфигурации. Повышение достоверности прогноза оседания земной поверхности достигнуто за счет применения моделей поведения геоматериала, способных отразить основные аспекты механического поведения аргиллитоподобных глинистых пород, а также за счет более полного учета особенностей строительства каждого из элементов станционного комплекса.

Заключение

В заключение необходимо отметить, что за годы развития методов прогноза оседа-

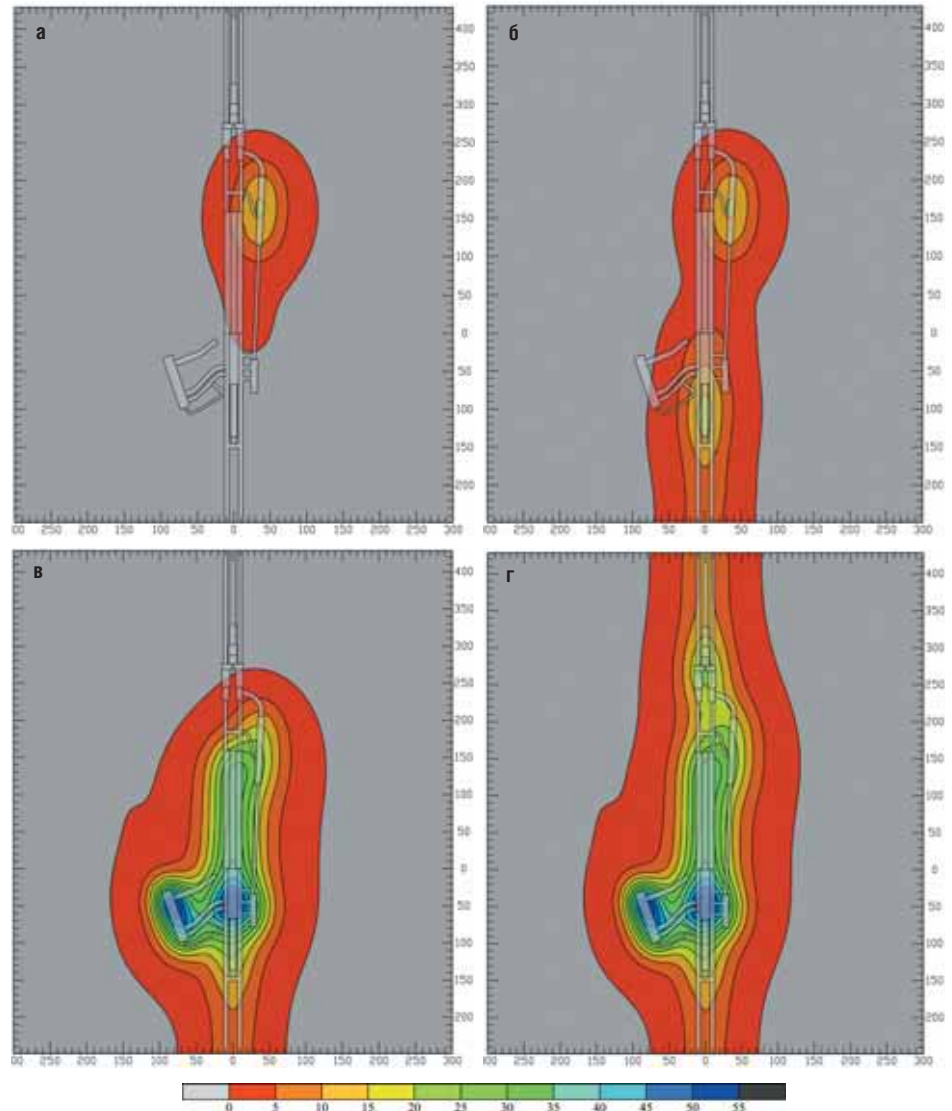


Рис. 4. Результаты прогноза деформаций земной поверхности на различных этапах строительства станционного комплекса: а – строительство выработок околостольного двора; б – строительство тягово-понижительной подстанции и примыкающих перегонных тоннелей; в – строительство комплекса выработок пересадочного узла; г – после завершения строительства всех подземных сооружений

ния земной поверхности при строительстве подземных сооружений в городской черте, начиная с Лиманова и Пека, каждый последующий исследователь, занимающийся данным вопросом, вносил определенный вклад в их развитие, что расширяло область их практического применения и позволяло решать все больший круг задач. Основное внимание всегда уделялось инженерно-геологическим условиям, параметрам подземных сооружений и каким образом осуществляется их строительство. На современном этапе развития методов прогноза земной поверхности при строительстве подземных сооружений, основанных на внедрении

численного моделирования, вопросы повышения достоверности расчетов остаются все теми же. Однако данный этап развития методов расчета деформаций земной поверхности характеризуется переходом от прогноза негативных сценариев развития к поиску технических решений, позволяющих снизить негативное влияние строительства подземного сооружения за счет внедрения конструктивных или технологических мероприятий, как непосредственно на участке ведения работ, так и за счет организации компенсационных мер или усиления существующих зданий, сооружений или объектов инфраструктуры.



Автодорожный тоннель тоннельного комплекса №1
совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис»



Краснополянский тоннель (южный портал) на федеральной трассе Адлер – Красная поляна

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА КОНСТРУКЦИЙ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЫ И 4D МОДЕЛИРОВАНИЯ

П. А. Деменков, доцент кафедры строительства горных предприятий и подземных сооружений Санкт-Петербургского горного университета

М. О. Лебедев, к. т. н., заведующий лабораторией ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс»

В статье предложена методология расчета конструкций станций метрополитена глубокого заложения на основе открытой динамической системы и 4D моделирования с учетом временного фактора (последовательности строительства). Предложенные подходы позволяют получить полную и объемную картину как напряженно-деформированного состояния конструкций станций, так и мультимедийные оседания поверхности, и могут применяться для обоснования рациональных объемно-планировочных и конструктивно-технологических решений. Открытая динамическая система «массив – технология строительства – станция» позволяет также вносить конструктивные и технологические изменения в разработанную базовую модель для ее корректировки в процессе строительства и эксплуатации при возникновении нештатных ситуаций или иных вновь появившихся факторов, что позволяет оперативно решать возникающие проблемы. Приведен пример численного моделирования методом конечных элементов пилонной станции метрополитена, выполненного на основе предложенных подходов. Предложена структура оптимизации технологии строительства и конструкций станций метрополитена глубокого заложения.

Условия строительства станций метрополитена характеризуются множеством взаимосвязанных природных, техногенных и антропогенных факторов, отражающих специфику требований к способам и технологиям их строительства. При проектировании и строительстве вмещающий массив, технология строительства и станция должны рассматриваться как элементы динамической природно-технической геосистемы.

Натурные исследования свидетельствуют о существенном влиянии технологии строительства (последовательность проходки тоннелей, постепенное раскрытие сечения тоннелей, подвигание забоя и т. д.) на величину и характер распределения нагрузок по обделке станций метрополитена глубокого заложения.

Существующие методы расчета конструкций станций метрополитена глубокого заложения, как правило, основаны на схеме заданных нагрузок, не учитывают сложную объемно-планировочную схему станций и основные этапы технологии их строительства, а также другие условия и факторы, оказывающие значительное влияние на развитие геомеханических процессов и напряженное состояние и, в связи с этим, не в полной мере отражают особенности их работы.

Расчет сложных конструкций станций в виде стержневой системы на основе строительной механики требует использования значительных допущений, что является серьезной проблемой, особенно при разработке принципиально новых конструкций, технологических решений и типов станций ввиду невозможности достоверной оценки

величины влияния вносимых изменений в существующую расчетную схему. Для разработки адекватной расчетной схемы, при таком подходе, необходимо строительство станции метрополитена с большими запасами прочности, с дальнейшим проведением натурных исследований на ней, что требует значительных затрат материальных ресурсов при строительстве и времени для разработки рациональной конструкции. Дальнейшее совершенствование станций будет проводиться последовательно, длительное время с постепенной корректировкой расчетной схемы и конструкций в соответствии с полученными результатами на вновь построенных станциях.

Таким образом, применяемые сейчас подходы к расчету и проектированию новых конструкций станций метрополитена являются очень трудоемкими и не позволяют получить полную картину формирования ее напряженно-деформированного состояния в процессе их строительства и эксплуатации.

Современная стратегия развития подземного строительства ориентирует на решение крупных научных и технических проблем:

- геомеханическое обоснование проектирования, строительства, реконструкции и восстановления станций метрополитена;
- разработка и внедрение методов подготовки и способов воздействия на грунтовой массив с целью изменения их физико-механических свойств;
- совершенствование и внедрение передовых методов строительства (высокие технологии);

• обоснование и разработка технических и технологических решений гибких управляемых технологических процессов;

• концепции мониторинга строительства и эксплуатации станций метрополитена на основе исследования процессов, предшествующих моменту перехода в аварийное состояние;

• методы выявления и оценки рисков, остаточных ресурсов и долговечности подземных объектов.

На современном этапе решение локальных задач строительства станций метрополитена недостаточно для реализации основного принципа проектирования и строительства – минимизация ущерба от негативных проявлений возможных рисков. В подземном строительстве вмещающий массив, технология строительства, станция метрополитена рассматриваются как элементы динамической природно-технической геосистемы.

Важнейшие направления стратегии развития подземного строительства – исследование геомеханических процессов в системе «массив – технология строительства – станция», свойств вмещающего массива, исследования по оценке устойчивости станций метрополитена, выбору рациональных конструкций несущих элементов и обделок, методологии геомониторинга для контроля состояния элементов и станций метрополитена на всех этапах его строительства и эксплуатации.

С современных позиций геомеханики и геотехнологии массив, технология строительства и станция рассматриваются как подсистемы открытой динамической гео-

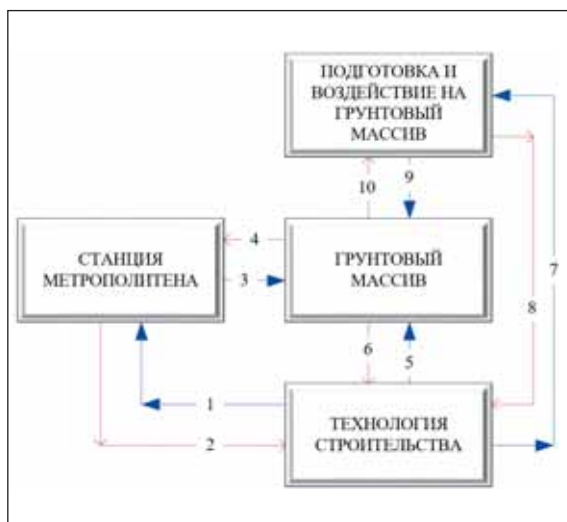


Рис. 1. Схема динамической системы «массив – технология строительства – станция»

системы (рис. 1). Система «массив – технология строительства – станция» отображает взаимодействие факторов и их сочетаний, влияющих на эффективность строительства и эксплуатацию станций метрополитена.

Подсистема «Грунтовый массив» формирует исходную информацию о параметрах вмещающего массива, что определяет требования к технологии строительства станции. Подсистема «Станция метрополитена» содержит характеристики функционального назначения объекта и, в свою очередь, формулирует требования к характеристикам вмещающего массива. Подсистема «Технология строительства» содержит технологические решения, удовлетворяющие требованиям подсистем «Грунтовый массив» и «Станция метрополитена». Подсистема «Подготовка и воздействие на грунтовый массив» изменяет характеристики естественного поля напряжений и содержит технологические

решения, удовлетворяющие требованиям подсистем «Грунтовый массив» и «Технология строительства».

Прямые и обратные связи подсистем составляют единую систему «массив – станция». Прямая связь 1 выражает управление человеком строительством станции. Обратная связь 2 отражает реакцию станции на применяемую технологию строительства. Прямая связь 3 отражает влияние, в основном, при эксплуатации станции на вмещающий массив, строения на поверхности, коммуникации, а их реакцию – обратная связь 4. Прямая связь 5 – управляющее воздействие на вмещающий массив через технологию стро-

ительства при отсутствии необходимости улучшения условий строительства (отсутствие подсистемы «Подготовка и воздействие на грунтовый массив»). Обратные связи 6, 8, 10 – реакция грунтового массива, объектов на поверхности и коммуникаций, попадающих в зону влияния строительства станций метрополитена, на технологию его строительства. Прямые связи 7, 9 – управляющее воздействие на вмещающий массив через технологию строительства.

Прямые и обратные взаимосвязи подсистем системы «массив – станция» являются базой для обоснования технологических решений строительства станций метрополитена. Применение различных методов подготовки и способов воздействия на грунтовый массив формируют обратные связи, в разной степени минимизирующие реакцию системы «массив – технология строительства – станция» на при-

родные, техногенные и антропогенные воздействия.

Суть управления системой «массив – станция» заключается в поддержании её в устойчивом (эксплуатационном) состоянии, минимизируя негативное взаимовоздействие составляющих её подсистем.

Система «массив – станция» ориентирует на вариантность стратегий строительства станций метрополитена, формируемых из типовых модулей (тактик). Типовые модули представляют методы подготовки и способы воздействия на массив, технологии, технические и технологические решения строительства станций метрополитена в различных горно-геологических условиях.

Тогда проектирование системы заключается в поиске оптимального сочетания возможных вариантов поведения подсистем, при котором минимизируются их негативные воздействия друг на друга.

Из рассматриваемой системы «массив – технология строительства – станция» наибольшее влияние на формирование НДС станций оказывает технология их строительства. Это подтверждается натурными исследованиями, проведенными как совместно с ОАО «Ленметрогипротранс», так и лабораторией ЦНИИС на станциях различных типов.

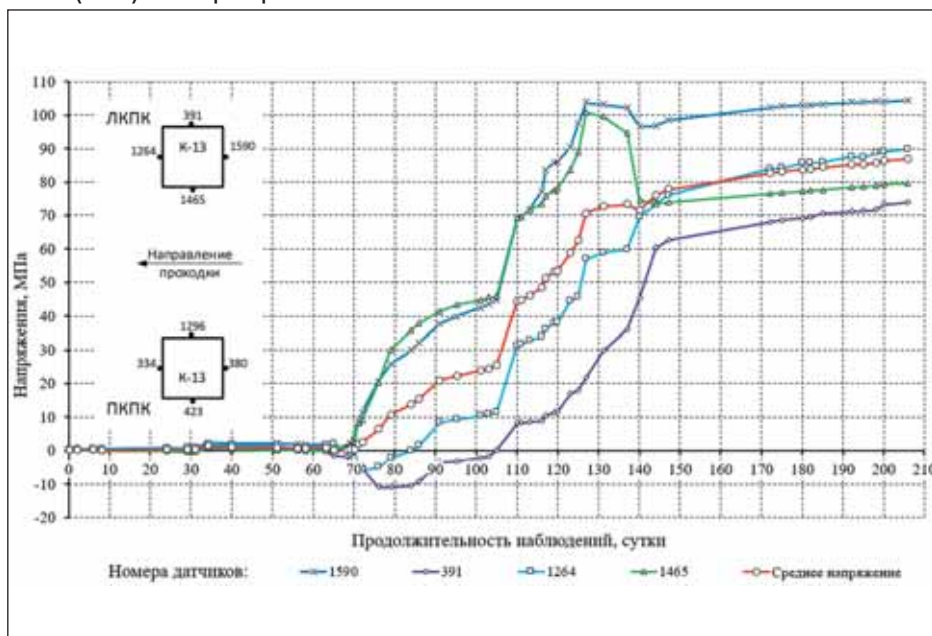
В качестве примера можно привести результаты исследования, проведенного на колонной станции «Комендантский проспект» (рис. 2).

На графике развития напряжений во времени в стальных колоннах можно выделить несколько наиболее значимых этапов строительства среднего тоннеля станции:

- разработка калотты – происходит активный рост напряжений с незначительным их снижением в момент нахождения забоя на исследуемом колонно-прогонном комплексе;
- разработка ядра среднего тоннеля – наблюдается скачок напряжений (105 сут);
- разборка тубингов временного заполнения также приводит к резкому увеличению нагрузки на колонны (125 сут);
- разработка обратного свода – влияние на формирование НДС (снижение напряжений) становится заметным на расстоянии 3–3,5 м до исследуемого участка и прекращается сразу после его прохождения (137 сут).

Формирование напряженно-деформированного состояния колонно-прогонных комплексов происходит со скачками во времени в зависимости от технологических этапов. Кроме того, распределение напряжений в сечении колонны также неравномерно – более загруженными оказываются грани, расположенные первыми по направлению проходки. Также наблюдается перераспределение напряжений в сечении колонны в процессе строительства станции, причем разработка обратного свода (137 сут.) по-разному влияет на этот

Рис. 2. График формирования напряжений в стальных колоннах левого колонно-прогонного комплекса (ЛКПК) по четырем граням



процесс. На датчиках 1590 и 1465 наблюдается резкое снижение, а на датчиках 1264 и 391 наоборот – значительный рост напряжений.

Численное моделирование станций различных типов также подтверждает необходимость учета технологии строительства при расчете станций.

Решение геомеханических задач на основе предложенных подходов наиболее эффективно с помощью численного моделирования (методы конечных и граничных элементов) [3–5], позволяющего учесть этапность строительства станции (рис. 3).

В качестве примера можно привести численное моделирование пилонной станции. Общий вид конечно-элементной модели, которая включает в себя окружающий массив и обделку пилонной станции метрополитена глубокого заложения, приведен на рис. 4 и 5.

На рис. 6 приведены полученные зависимости изменения напряжений от этапа строительства для левого станционного тоннеля на участке раскрытия проема.

Рост напряжений в обделке левого и правого станционных тоннелей в основном вызван непосредственно их строительством. Как показывают зависимости, строительство правого тоннеля практически не сказывается на напряженном состоянии обделки в левом тоннеле. Раскрытие проема увеличивает напряжение в своде и на участке раскрытия соответственно на 1 и 3 МПа. Падение напряжений в боках обделки до нуля на этапе раскрытия пилона связано с тем, что точка замера располагалась непосредственно на участке раскрытия, где напряжения после демонтажа обделки стали равными 0.

На рис. 7 приведены зависимости изменения напряжений от этапа строительства для левого станционного тоннеля на протяженном участке тоннеля.

Можно отметить, что на данном участке раскрытие проема оказывает более значимое воздействие на напряженное состояние обделки. Так, напряжение в боках увеличивается в 4 раза. В своде происходит падение на 1 МПа. На участке раскрытия также наблюдается некоторая релаксация напряжений, связанная с их перераспределением в сторону участка раскрытия проема.

В целом можно отметить, что пиковые напряжения в некоторых элементах достигают максимальной величины на промежуточном этапе строительства и могут существенно превосходить значение установившихся напряжений на конечном этапе. Кроме того, наблюдается перераспределение напряжений в элементах конструкций в процессе всего строительства.

Вычислительная способность современных высокопроизводительных систем позволяет рассматривать сложные по объемно-планировочному решению конструкции станций метрополитена без

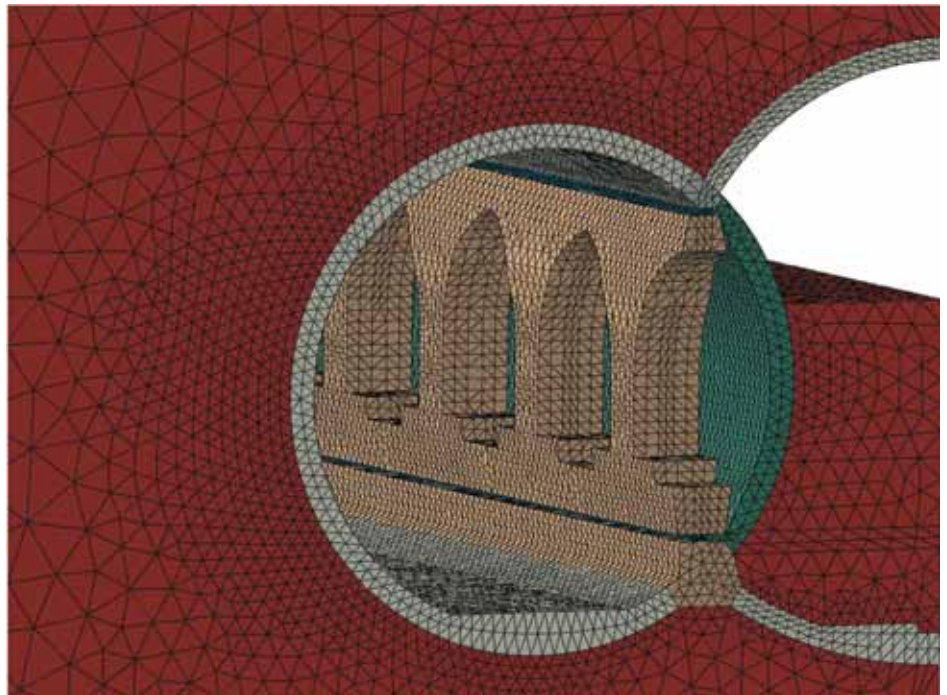


Рис. 3. Фрагмент конечно-элементной сетки модели колонной станции на промежуточном этапе

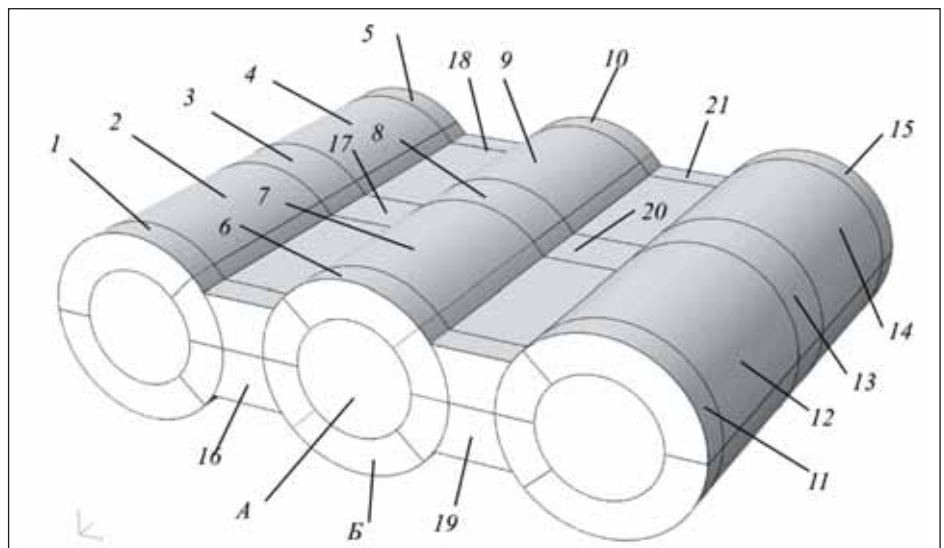
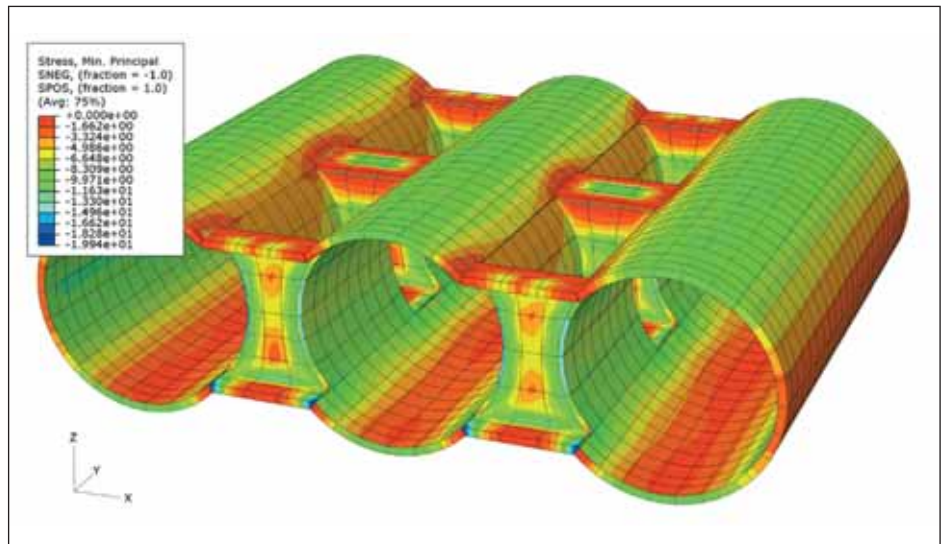


Рис. 4. Элементы модели пилонной станции метрополитена глубокого заложения (цифрами указаны этапы строительства станции)

Рис. 5. Характер распределения сжимающих напряжений в несущих конструкциях станции пилонного типа



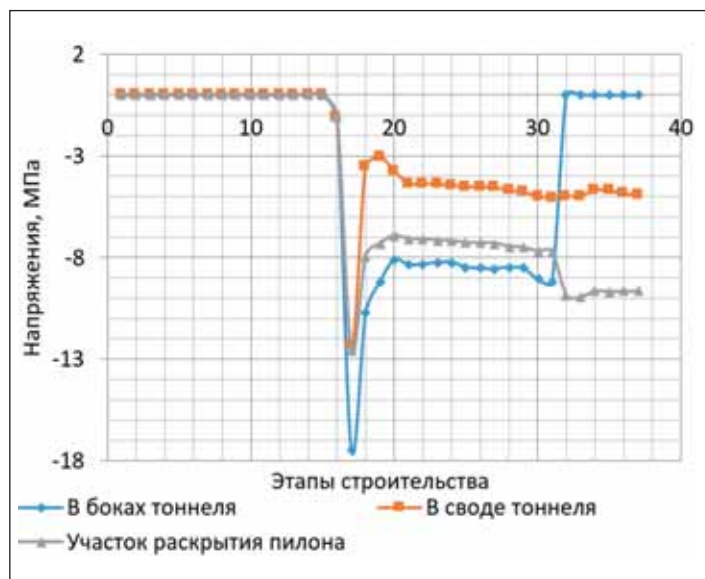


Рис. 6. Изменение сжимающих напряжений по мере строительства станции пилонного типа (боковой станционный тоннель, на участке проема)

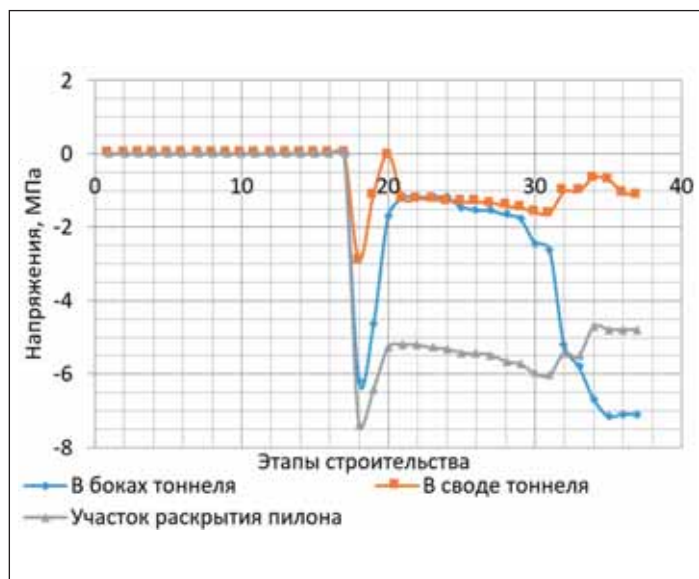


Рис. 7. Изменение сжимающих напряжений по мере строительства станции пилонного типа (боковой станционный тоннель, на протяженном участке)



Рис. 8. Структура оптимизации технологии строительства станций метрополитена



Рис. 9. Структура направлений совершенствования конструкций станций метрополитена

значительных упрощений, с учетом этапов их строительства, а также продолжительности воздействия нагрузок. Учесть все технологические факторы невозможно. При анализе технологии строительства станции важно выделить наиболее ответственные этапы строительства, которые оказывают сильное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния системы «массив – станция» [1, 2].

Структура оптимизации технологии строительства станций включает следующие технологические процессы: методы подготовки грунтового массива, способы воздействия на грунтовой массив, способы строительства станций метрополитена, варианты реализации способа строительства станций метрополитена (рис. 8).

Конструктивное совершенствование станций метрополитена может выполняться по следующим направлениям: изменение формы, изменение размеров, за-

мена материала, изменение конструктивной схемы (рис. 9).

Изменение формы позволяет исключить из работы слабо нагруженные участки несущего элемента и, тем самым, снизить его материалоемкость. Геометрические параметры конструкции увязаны с величиной нагрузки и сопротивлением материала. Часть элементов конструкции станции недогружена и имеет избыточный запас прочности. В идеальной ситуации запас прочности конструкций станций должен быть одинаковым по всем элементам. Замена материала несущих конструкций станций должна быть ориентирована на снижение их металлоемкости и снижение стоимости. По возможности рекомендуется заменять дорогостоящие стальные и чугунные элементы на монолитный и сборный железобетон. Наиболее перспективным материалом для станций метрополитена видится монолитный быстротвердеющий водонепроницаемый фибробетон.

Создание различных вариантов моделей станции позволяет получить наиболее рациональную конструкцию с обоснованными параметрами.

Предложенная методология расчета конструкций станций метрополитена глубокого заложения с учетом этапов строительства позволяет получить полную информацию об объекте проектирования (напряжения и деформации конструкций, оседание поверхности), как на этапе строительства, так и в процессе дальнейшей эксплуатации. Открытость динамической системы позволяет в случае необходимости оперативно вносить корректировки в модель и давать рекомендации по устранению возникших нештатных ситуаций. Кроме того, разработанная численная модель может стать частью информационной модели при использовании BIM моделирования.

Список литературы

1. Деменков, П. А. Исследование напряженного состояния обделки пилонной станции метрополитена глубокого заложения / П. А. Деменков, М. А. Карасев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия: Науки о земле. – Тула: Гриф и К. – 2009. – С. 50–55.
2. Деменков, П. А. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния обделки колонной станции закрытого типа с учетом последовательности ее строительства / П. А. Деменков, Д. Н. Пемров, М. Яндрус // Gornictwo i geologia. Kwartalnik, zeszyc 2. Gliwice. – 2010. – Tom 5. – С. 29–37.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
4. Зубков В. В. О математическом моделировании напряженного состояния массива горных пород // Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сб. научных трудов / ВНИИМ. СПб., 1999.
5. Фадеев А. Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987.